Aus der Medizinischen Poliklinik der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. H. Franke

DIE BEZIEHUNGEN DER Q-ZACKEN IN DEN HINTEREN BRUSTWANDABLEITUNGEN ZU DEN ELEKTRISCHEN HERZACHSEN IM EKG

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Carla Hillenbrand

aus Mellrichstadt

Würzburg, den 20. Mai 1980

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543521_0039

Aus der Medizinischen Poliklinik der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. H. Franke

DIE BEZIEHUNGEN DER Q-ZACKEN IN DEN HINTEREN BRUSTWANDABLEITUNGEN ZU DEN ELEKTRISCHEN HERZACHSEN IM EKG

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Carla Hillenbrand

aus Mellrichstadt

Würzburg, den 20. Mai 1980

Referent:	Prof. Dr. med. P. Polzien
Korreferent:	Prof. Dr. med. H. Franke
Dekan:	Prof. Dr. med. K.-H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 28. Juli 1980

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

MEINEN ELTERN

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
A.	Problemstellung	1
B.	Methode und untersuchter Personenkreis	3
C.	Ergebnisse	21
	I. Meßwerte und daraus berechnete Größen	21
	a) Berechnung von Winkel α	22
	b) Berechnung von Winkel δ	25
	c) Kennzeichnung der Rotation des Herzens	28
	II. Beziehungen der R-Zacken in D und A, sowie in I und II zu Winkel δ und α in Abhängigkeit von der Rotation des Herzens (Tab. VI, VII)	29
	III. Beziehungen der Q-Zacken in D zu V_{7-9} unter Berücksichtigung der R-Zacken und ihre Abhängigkeit von der Rotation des Herzens (Tab. VIII, IX, X, XI)	40
D.	Diskussion	48
E.	Zusammenfassung	52
F.	Literaturverzeichnis	54

A. PROBLEMSTELLUNG

Der unbestreitbar hohe Wert des Elektrokardiogramms in der Diagnose vielfältiger Störungen der Herzfunktion und einiger Stoffwechselparameter, die auf sie einwirken, weckt den Wunsch nach möglichst genauer Kenntnis normaler Befunde. Umso sicherer lassen sich dann krankhafte Veränderungen abgrenzen. Schon unter physiologischen Bedingungen zeigen die EKG's klinisch gesunder Menschen große Variationen [3, 4, 5, 7] . Zudem nimmt mit dem Alter die linkstypische Position immer mehr zu; im Zug der physiologischen Linkshypertrophie tritt eine Neigung des Herzens zur Drehung um seine Längsachse nach links auf, der linke Ventrikel kommt näher an der vorderen Brustwand zu liegen. Diese Rotation bedingt eine Verlagerung der normalen Übergangszone in den Brustwandableitungen nach WILSON in Richtung der rechtspräcordialen Ableitungen V_2 und V_3 [5] .

In dieser Untersuchung soll der Einfluß der Rotation - in einem Spektrum von Rechtsrotation über die normale Übergangszone bis zur Linksrotation - auf Parameter dargestellt werden, die sich in den Extremitätenableitungen nach EINTHOVEN, den Ableitungen im kleinen Herzdreieck nach NEHB und schließlich in den hinteren Brustwandableitungen V_{7-9} manifestieren.

Hier liegt ein Schwerpunkt auf dem Zusammenhang der Rotation mit dem Positionstyp, ausgedrückt durch den Winkel α im EINTHOVEN'schen Dreieck, und mit der Lage in den Ableitungen nach NEHB, charakterisiert durch den Winkel δ .

Da breite und tiefe Q-Zacken in NEHB-D und den hinteren Brustwandableitungen nach WILSON ein wichtiges Infarktkriterium darstellen können, stellt sich eine weitere Aufgabe in der Beurteilung ihrer physiologischen Breite. Eine mögliche Beeinflussung durch die Rotation des Herzens um seine Längsachse und durch die Lagetypen in den Ableitungen nach EINTHOVEN und NEHB soll aufgedeckt werden. Daneben soll der bekannte Zusammenhang zwischen Q_D und $Q_{V_{7-9}}$ [2]

näher präzisiert werden. Der Einfluß einer Linkshypertrophie soll durch vergleichende Gegenüberstellung einer Gruppe, die hauptsächlich aus Hypertonikern besteht, dargestellt werden. Hier finden neben den elektrokardiographischen Zeichen einer linksventrikulären Hypertrophie die Thorax-Röntgenbefunde Beachtung. Für Linkshypertrophie spricht eine aortale Konfiguration des Herzens mit betont konkaver Herzbucht und vorspringendem Aortenknopf [9].

B. METHODE UND UNTERSUCHTER PERSONENKREIS

Bei 99 teils ambulant, teils stationär behandelten Patienten der medizinischen Poliklinik in Würzburg wurden die Extremitätenableitungen nach EINTHOVEN, die Brustwandableitungen nach NEHB und die Ableitungen V_1-V_9 nach WILSON registriert. Es sind beide Geschlechter und alle Altersgruppen Erwachsener vertreten. Das Durchschnittsalter betrug 46,24 Jahre. Zur Registrierung der EKG-Kurven fand der Dreifach- und Sechsfachschreiber "Cardirex" der Firma Siemens Verwendung.

Um die Einflüsse einer Linkshypertrophie auf die Untersuchungsergebnisse zu eliminieren, wurde eine Gruppe von 28 Patienten mit Hypertrophie des linken Ventrikels gebildet und mit 71 Patienten ohne Hypertrophiezeichen verglichen. Die konzentrische Linkshypertrophie äußert sich röntgenologisch in einer aortalen Konfiguration des Herzens und stellt zunächst eine physiologische Reaktion des Myokards auf vermehrte Druckbelastung dar [9]. In der Regel war diese Mehrbelastung durch Hypertonie bedingt, was aus den Krankengeschichten der Patienten hervorging, in einem Fall (Patient Nr. 14, 21 J.) durch Aorteninsuffizienz. Ein Patient ist Leistungssportler (Nr. 37, 27 J.); bei weiteren fünf Patienten lagen die Blutdruckwerte mit 145/90 bis 145/95 an der oberen Grenze der Norm (Nr. 16, 51 J., Nr. 31, 30 J., Nr. 34, 45 J., Nr. 36, 29 J., Nr. 80, 67 J.). Auch sie boten im EKG wie im Röntgenbild auffällige Hinweise auf eine Hypertrophie des linken Ventrikels, so daß sie mit in die Gruppe aufgenommen wurden. Zeichen einer Dekompensation des Herzens, wie Lungenstauung und ausgeprägte Dilatation, waren in keinem Fall vorhanden.

Durch die Kombination der Auswertung von Thorax-Röntgenbildern und klinischen Befunden aus den Krankenblättern mit der Beurteilung des Elektrokardiogramms jedes einzelnen Patienten sollte die Diagnose "Linkshypertrophie" präzisiert werden, da die Aussage des EKG's allein hier keine ausreichende Sicherheit gewährleistet. Im Elektrokardiogramm existieren viele mehr oder weniger gleichwertige Kri-

terien, die auf eine Linkshypertrophie hindeuten [5]; die Trefferquote beträgt jedoch nach RITTER-FATTORUSSO nur etwa 60 % bei 10 - 15 % falsch positiven Diagnosen [7]. Nach RITTER-FATTORUSSO und NUSSER-TRIEB-WEIDNER [7, 4] galten folgende EKG-Daten als Zeichen für Linkshypertrophie:

Linkstypische Lage

R_I-Größe von mindestens 2 mV

R_{V_5} oder R_{V_6} mindestens 2,6 mV

tiefes S in III und V_{1-3}

präterminal negatives T in V_5 und V_6

Am bekanntesten ist wohl der SOKOLOW-Index:

R_{V_5} (oder R_{V_6}) + S_{V_1} (oder S_{V_2}) beträgt mindestens 3,5 mV.

Wie bereits erwähnt, sind diese Daten weder absolut beweiskräftig, noch müssen sie in jedem Fall von Linkshypertrophie kombiniert vorliegen. Daher gab der Thorax-Röntgenbefund bei einer aortalen Konfiguration des Herzens in Zweifelsfällen wertvolle Entscheidungshilfen.

In der Gruppe der Patienten mit Rechtsrotation fielen drei Fälle auf, bei denen nach den genannten Kriterien eine Linkshypertrophie bestand, die jedoch mit Zeichen von Rechtshypertrophie zusammentraf. Diese sind nach NUSSER-TRIEB-WEIDNER [4]:

R_{V_1} ist mindestens 0,7 mV hoch

R_{V_1} ist größer als S_{V_1}

kleines R in V_5 und V_6

S in V_5 oder V_6 mindestens 0,7 mV

präterminal negatives T in V_1 und V_2

Ein weiterer Hinweis auf Rechtshypertrophie, nämlich die rechtstypische Lage, bestand hier nicht, da bei diesen Patienten gerade die Kombination von Linkstyp mit Rechtsrotation auffiel. Fälle mit Rechtsverspätung, die oft durch Rechtshypertrophie bedingt ist, waren im untersuchten Kollektiv nicht vertreten. Dagegen lag der SOKOLOW-Index $R_{V_1} + S_{V_5}$ höher als 1,5 mV, was ebenfalls für rechtsventrikuläre Hypertrophie spricht.

Nach den genannten Kriterien ergaben sich sechs Untergruppen:

1) Linksrotation/keine Röntgen- und EKG-Zeichen für Linkshypertrophie: 34 Patienten, Durchschnittsalter 49,76 Jahre.
2) Normaler Umschlagspunkt/keine Röntgen- und EKG-Zeichen für Linkshypertrophie: 28 Patienten, Durchschnittsalter 37,07 Jahre.
3) Rechtsrotation/keine Röntgen- und EKG-Zeichen für Links- oder Rechtshypertrophie: 9 Patienten, Durchschnittsalter 56,44 Jahre.
4) Linksrotation mit Röntgen- und EKG-Zeichen für Linkshypertrophie: 12 Patienten, Durchschnittsalter 54,5 Jahre.
5) Normaler Umschlagspunkt mit Röntgen- und EKG-Zeichen für Linkshypertrophie: 13 Patienten, Durchschnittsalter 43,54 Jahre.
6) Rechtsrotation mit Röntgen- und EKG-Zeichen für Links- und Rechtshypertrophie: 3 Patienten, Durchschnittsalter 59,67 Jahre.

Die Berechnung des Winkels α erfolgte aus Ableitung I und II nach den geometrischen Verhältnissen im EINTHOVEN'schen Dreieck, die des Winkels δ aus Ableitung D und A nach dem von SCHULTE 1967 angegebenen Dreieck, das die Größenverhältnisse und Winkel zwischen den NEHB'schen Ableitungen berücksichtigt [8]. Die Methode wird an anderer Stelle beschrieben.

Alle Berechnungen kamen mit Hilfe des Rechenzentrums der Universität Würzburg zustande [6].

Tabelle I

Patient		R_I/mV	R_{II}/mV	$\sphericalangle\alpha$	R_D/mV	R_A/mV	$\sphericalangle\delta$
1	A.19 J.	o,65	1,oo	5o,17	1,79	2,65	78,27
2	K.55 J.	o,76	1,38	56,65	2,35	2,2o	114,o8
3	M.55 J.	o,38	1,11	7o,32	1,98	2,2o	99,46
4	B.25 J.	o,35	1,2o	73,53	2,32	3,26	81,62
5	K.33 J.	o,6o	1,15	58,56	1,75	1,75	1o8,43
6	M.24 J.	o,55	1,7o	71,52	2,1o	2,95	81,64
7	R.49 J.	o,4o	1,1o	68,95	1,9o	2,1o	99,9o
8	R.69 J.	o,38	o.82	62,42	1,2o	2,35	64,25
9	R.32 J.	o,4o	1,oo	66,59	1,5o	2,4o	73,74
1o	R.17 J.	o,47	1,1o	64,8o	1,7o	2,56	77,23
11	R.14 J.	o,6o	1,o1	53,8o	1,55	2,6o	71,24
12	S.24 J.	o,6o	1,34	64,45	2,3o	3,22	81,87
13	D.28 J.	o,35	1,25	74,25	2,oo	2,35	94,86
14	L.21 J.	1,32	2,25	54,29	3,36	4,oo	93,81
15	S.19 J.	o,8o	1,9o	65,21	2,8o	3,45	91,11
16	H.51 J.	1,o5	1,58	49,24	2,16	2,6o	92,94
17	R.57 J.	1,o8	1,45	44,21	2,4o	3,52	78,86
18	S.24 J.	1,oo	1,56	5o,75	2,7o	3,84	8o,83
19	M.49 J.	o,75	1,o5	46,1o	2,3o	1,7o	132,66
2o	G.59 J.	o,55	o,85	5o,36	1,52	1,9o	9o,oo
21	E.15 J.	o,86	o,86	3o,oo	1,7o	1,7o	1o8,43
22	S.54 J.	o,95	o,95	3o,oo	1,65	2,25	83,66
23	M.61 J.	o,5o	o,41	2o,28	o,8o	1,6o	63,43
24	E.45 J.	1,1o	1,15	32,2o	2,o7	2,5o	92,67
25	K.58 J.	1,15	o,7o	7,15	1,82	2,5o	83,16
26	P.35 J.	o,8o	o,8o	3o,oo	1,45	1,78	91,39
27	K.58 J.	1,25	o,73	5,54	2,15	1,22	148,o6
28	H.22 J.	o,85	o,6o	13,37	1,12	1,45	87,37
29	M.25 J.	1,oo	o,7o	13,oo	1,72	2,39	82,87
3o	H.62 J.	o,78	o,74	27,39	1,55	2,1o	84,11
31	V.3o J.	o,7o	o,7o	3o,oo	1,7o	2,25	85,76
32	H.52 J.	o,96	o,9o	26,8o	1,74	3,4o	64,34
33	S.56 J.	1,o5	1,o5	3o,oo	2,8o	3,45	91,11
34	W.45 J.	1,38	1,5o	34,13	2,8o	2,91	1o5,13
35	H.54 J.	o,4o	1,3o	72,52	1,8o	2,7o	77,44
36	B.29 J.	1,oo	o,96	27,98	1,7o	3,66	6o,79
37	T.27 J.	1,24	2,1o	54,o4	2,9o	3,25	98,75
38	S.63 J.	o,8o	1,3o	52,41	1,95	3,62	66,46
39	W.48 J.	o,78	1,5o	58,68	2,4o	3,32	82,68
4o	K.14 J.	o,45	1,1o	65,99	1,79	2,15	93,11
41	S.26 J.	o,52	o,82	51,19	1,12	1,55	82,65
42	G.25 J.	o,71	o,92	42,58	2,oo	3,92	64,22
43	B.69 J.	1,o5	1,57	48,97	2,oo	2,7o	84,36
44	D.26 J.	o,6o	o,95	51,36	1,52	2,5o	72,26
45	L.56 J.	o,8o	1,32	53,o2	1,9o	2,5o	86,19
46	G.6o J.	o,88	1,32	49,11	2,oo	3,o6	76,29
47	W.32 J.	o,5o	1,22	65,94	1,2o	2,55	61,23
48	B.43 J.	o,75	1,15	5o,o3	2,2o	2,8o	88,64
49	S.75 J.	o,98	1,38	46,36	2,88	3,43	93,78

Tabelle I / Fortsetzung

	Patient	R_I/mV	R_{II}/mV	∢α	R_D/mV	R_A/mV	∢δ
5o	B.48 J.	1,5o	o,92	7,46	1,92	3,45	67,91
51	F.37 J.	o,56	1,22	62,71	1,7o	3,32	64,36
52	J.66 J.	o,6o	o,97	52,2o	2,1o	3,65	69,47
53	K.69 J.	o,8o	1,oo	4o,89	1,9o	2,5o	86,19
54	K.76 J.	1,84	2,2o	38,77	2,86	3,55	9o,54
55	R.17 J.	o,2o	1,35	82,11	2,o5	3,47	7o,78
56	R.58 J.	1,2o	1,55	42,43	2,74	3,84	81,8o
57	B.19 J.	-o,5o	1,3o	1o5,61	1,9o	3,1o	72,68
58	L.6o J.	o,2o	o,85	77,oo	1,2o	1,oo	123,69
59	S.44 J.	o,24	1,3o	8o,o1	1,55	1,82	94,92
6o	K.8o J.	o,95	o,7o	15,3o	2,85	o,9o	165,77
61	R.72 J.	o,66	1,25	58,15	1,92	2,35	91,62
62	R.71 J.	o,49	-1,o2	-71,46	o,5o	1,9o	48,18
63	R.33 J.	o,75	1,o4	45,67	1,85	2,62	81,11
64	W.42 J.	o,63	o,9o	47,oo	1,62	1,8o	99,46
65	S.35 J.	o,6o	o,9o	49,11	1,45	2,3o	74,22
66	K.57 J.	o,9o	o,92	31,o9	1,58	2,53	73,7o
67	S.48 J.	1,15	1,o3	24,55	1,72	o,86	71,69
68	B.22 J.	1,35	1,oo	15,54	1,84	2,32	89,34
69	F.65 J.	o,68	o,7o	31,44	1,18	1,9o	73,39
7o	L.6o J.	o,98	o,9o	25,78	1,75	3,92	59,49
71	T.58 J.	o,78	o,7o	24,65	1,3o	2,2o	7o,79
72	T.67 J.	o,9o	o,42	-2,2o	1,o8	2,6o	57,34
73	B.49 J.	o,98	o,5o	o,68	1,25	2,37	65,57
74	G.4o J.	o,98	o,94	27,93	1,25	3,25	55,3o
75	B.19 J.	o,5o	o,65	42,73	1,1o	1,56	81,o1
76	P.51 J.	o,8o	o,74	26,14	1,35	1,9o	81,52
77	B.42 J.	o,8o	o,68	22,o1	1,38	2,62	65,51
78	K.37 J.	1,45	1,74	38,95	2,25	4,2o	66,23
79	B.49 J.	1,18	1,18	3o,oo	2,o8	3,85	66,59
8o	B.67 J.	1,22	1,2o	29,18	1,98	3,85	64,54
81	K.55 J.	o,8o	o,76	27,46	1,16	2,96	55,78
82	S.72 J.	o,88	o,8o	25,28	1,26	2,7o	6o,95
83	M.56 J.	1,8o	1,22	11,6o	1,98	3,4o	7o,o6
84	G.62 J.	1,1o	o,75	11,86	1,7o	3,3o	64,6o
85	B.38 J.	1,98	1,2o	6,98	3,oo	4,oo	85,24
86	G.63 J.	1,o5	1,26	38,95	2,25	3,7o	72,26
87	J.72 J.	o,95	o,1o	-29,47	1,25	2,23	68,24
88	S.68 J.	1,o8	o,98	25,19	2,16	3,48	73,36
89	W.68 J.	o,25	o,55	63,oo	2,oo	-o,2o	183,18
9o	K.38 J.	o,45	1,48	72,75	2,o5	2,25	1oo,49
91	S.68 J.	o,28	o,92	72,73	1,12	o,98	119,74
92	B.36 J.	1,3o	o,7o	2,54	1,75	1,72	1o9,92
93	B.5o J.	1,3o	1,24	27,66	2,5o	2,75	1oo,3o
94	R.51 J.	o,77	o,75	28,69	1,7o	1,33	128,55
95	H.51 J.	1,42	o,72	o,47	2,oo	1,42	135,4o
96	A.51 J.	1,42	-o,6o	-46,81	1,o5	2,82	54,52
97	S.65 J.	o,6o	-o,32	-5o,o3	o,8o	o,66	124,48
98	S.65 J.	1,oo	-o,6o	-51,79	o,9o	2,oo	59,74
99	K.61 J.	o,95	o,7o	15,3o	1,3o	3,2o	56,73

Tabelle II

Patient	R_{V_3}/mV	S_{V_3}/mV	R/S·1oo in V_3	R_{V_4}/mV	S_{V_4}/mV	R/S·1oo in V_4
1 A.	o,68	1,23	55,28	1,85	o,85	217,65
2 K.	o,87	1,5o	58,oo	1,9o	o,5o	38o,oo
3 M.	o,72	1,88	38,3o	1,65	1,4o	117,86
4 B.	o,43	1,25	34,4o	2,1o	o,67	313,43
5 K.	o,5o	o,9o	55,56	1,o2	o,4o	255,oo
6 M.	o,7o	o,9o	77,78	1,86	o,62	3oo,oo
7 R.	o,2o	1,1o	18,18	1,2o	o,48	25o,oo
8 R.	1,o5	1,7o	61,76	1,92	o,85	225,88
9 R.	o,5o	o,85	58,82	1,65	o,35	471,43
1o R.	1,13	1,45	77,93	1,82	o,6o	3o3,33
11 R.	1,oo	1,3o	76,92	2,1o	o,85	247,o6
12 S.	1,o1	1,11	9o,99	2,5o	o,44	568,18
13 D.	o,7o	1,5o	46,67	1,4o	o,62	225,81
14 L.	1,5o	2,86	52,45	3,45	o,72	479,17
15 S.	o,65	1,49	43,62	3,o2	o,2o	151o,oo
16 H.	1,3o	1,9o	68,42	2,45	1,o6	231,13
17 R.	o,77	1,42	54,32	2,45	o,92	266,3o
18 S.	1,55	1,65	93,94	3,13	o,6o	521,67
19 M.	o,5o	2,32	21,55	o,88	o,95	92,63
2o G.	o,9o	1,35	66,67	1,3o	o,73	178,o8
21 E.	o,6o	o,9o	66,67	1,o5	o,5o	21o,oo
22 S.	o,66	o,55	12o,oo	1,4o	o,32	437,5o
23 M.	o,9o	1,18	76,27	1,4o	o,75	186,67
24 E.	o,8o	o,9o	88,89	1,6o	o,5o	32o,oo
25 K.	1,oo	1,oo	1oo,oo	1,8o	o,7o	257,14
26 P.	o,7o	1,15	6o,87	o,92	o,6o	154,33
27 K.	o,59	1,3o	45,38	o,78	o,68	114,71
28 H.	o,9o	1,1o	81,82	o,82	o,38	215,79
29 M.	o,75	1,7o	44,12	1,48	o,82	18o,49
3o H.	o,42	1,2o	35,oo	1,45	o,7o	2o7,14
31 V.	o,48	1,9o	25,26	1,68	o,98	171,43
32 H.	o,8o	1,o5	76,19	2,5o	o,1o	25oo,oo
33 S.	o,6o	1,63	36,8o	2,3o	o,48	479,17
34 W.	o,6o	1,45	41,38	1,6o	o,8o	2oo,oo
35 H.	1,15	o,38	3o2,63	1,84	o,1o	184o,oo
36 B.	1,4o	1,4o	1oo,oo	2,48	o,7o	354,29
37 T.	2,32	o,8o	29o,oo	3,3o	o,3o	11oo,oo
38 S.	1,3o	o,85	152,94	2,82	o,54	522,22
39 W.	o,95	o,36	263,89	1,85	o,1o	185o,oo
4o K.	1,32	o,7o	188,57	1,18	o,32	368,75
41 S.	1,15	o,82	14o,24	1,o3	o,34	3o2,94
42 G.	1,4o	o,75	186,67	2,56	o,34	752,94
43 B.	1,45	o,3o	483,33	1,65	o,1o	165o,oo
44 D.	o,96	o,4o	24o,oo	1,75	o,16	1o93,75
45 L.	1,o6	o,57	185,97	1,2o	o,1o	12oo,oo
46 G.	1,72	o,1o	172o,oo	2,3o	o,1o	23oo,oo
47 W.	o,95	o,44	215,91	1,86	o,15	124o,oo
48 B.	o,74	o,35	211,43	1,5o	o,12	125o,oo
49 S.	1,95	1,2o	162,5o	2,55	o,62	411,29

Tabelle II / Fortsetzung

Patient		R_{V_3}/mV	S_{V_3}/mV	R/S·1oo in V_3	R_{V_4}/mV	S_{V_4}/mV	R/S·1oo in V_4
5o	B.	2,o5	o,4o	512,5o	2,2o	o,3o	733,33
51	F.	1,3o	o,3o	433,33	1,92	o,3o	64o,oo
52	J.	1,15	o,9o	172,78	2,5o	o,25	1ooo,oo
53	K.	o,92	o,26	353,85	1,7o	o,1o	17oo,oo
54	K.	2,32	o,5o	464,oo	1,98	o,1o	198o,oo
55	R.	o,68	1,16	58,62	2,6o	o,15	1733,33
56	R.	o,95	o,1o	95o,oo	3,7o	o,1o	37oo,oo
57	B.	o,5o	3,oo	16,67	2,2o	1,75	125,71
58	L.	o,1o	1,35	7,41	o,52	o,84	61,9o
59	S.	o,3o	2,o5	14,63	1,o5	o,55	19o,91
6o	K.	o,43	o,92	46,74	o,48	1,18	4o,67
61	R.	1,oo	1,83	54,64	1,5o	1,o2	147,o6
62	R.	o,79	2,45	32,24	1,99	2,oo	99,5o
63	R.	1,62	1,3o	124,62	1,95	o,28	696,43
64	W.	o,5o	o,9o	55,56	1,o5	o,45	233,33
65	S.	o,95	1,12	84,82	1,6o	o,52	3o7,69
66	K.	1,8o	o,7o	257,14	1,72	o,34	5o5,88
67	S.	1,32	o,7o	188,57	2,o6	o,1o	2o6o,oo
68	B.	1,o4	o,48	216,67	1,3o	o,1o	13oo,oo
69	F.	1,42	o,7o	2o2,86	1,3o	o,1o	13oo,oo
7o	L.	2,15	o,52	413,46	3,2o	o,1o	32oo,oo
71	T.	1,3o	1,o5	123,81	2,o2	o,36	561,11
72	T.	1,58	o,26	6o7,69	1,48	o,2o	74o,oo
73	B.	1,8o	o,72	25o,oo	1,8o	o,3o	6oo,oo
74	G.	2,o5	o,94	218,o9	3,oo	o,2o	15oo,oo
75	B.	o,75	o,24	312,5o	o,96	o,12	8oo,oo
76	P.	1,oo	o,2o	5oo,oo	1,o8	o,1o	1o8o,oo
77	B.	1,22	1,32	92,42	2,1o	o,94	223,4o
78	K.	1,95	o,3o	65o,oo	3,34	o,1o	334o,oo
79	B.	2,18	1,58	137,98	3,5o	o,7o	5oo,oo
8o	B.	1,28	o,84	152,38	3,o4	o,2o	152o,oo
81	K.	1,95	1,5o	13o,oo	2,1o	o,52	4o3,85
82	S.	1,79	o,49	365,31	1,95	o,1o	195o,oo
83	M.	2,8o	o,45	622,22	3,11	o,1o	311o,oo
84	G.	o,78	o,2o	39o,oo	2,5o	o,1o	25oo,oo
85	B.	1,15	o,45	255,56	2,79	o,15	186o,oo
86	G.	1,5o	o,75	2oo,oo	2,4o	o,58	413,79
87	J.	2,18	o,76	286,84	1,58	o,49	322,45
88	S.	1,32	o,9o	146,67	2,75	o,58	474,14
89	W.	o,1o	1,42	7,o4	o,18	1,38	13,o4
9o	K.	o,47	2,7o	17,4o	1,45	1,8o	8o,56
91	S.	o,1o	o,96	1o,42	o,33	o,8o	41,25
92	R.	o,78	1,72	45,35	o,9o	1,18	76,94
93	B.	o,1o	2,4o	4,17	1,88	2,65	7o,94
94	R.	o,36	1,35	26,67	o,88	1,45	6o,69
95	H.	o,36	1,57	22,93	o,54	1,18	45,76
96	A.	1,85	1,8o	1o2,78	2,4o	1,1o	218,18
97	S.	o,38	1,o2	37,25	o,38	o,49	77,55
98	S.	1,o5	1,1o	95,45	1,75	1,25	14o,oo
99	K.	1,6o	o,34	47o,58	2,68	o,2o	134o,oo

Tabelle III

Patient		Q/mV in				Q/s in			
		D	V_7	V_8	V_9	D	V_7	V_8	V_9
1	A.	o,o5	o,o1	o,o1	o,o5	o,o18	o,o1o	o,o1o	o,o2o
2	K.	o,oo	o,o1	o,o2	o,o6	o,ooo	o,o1o	o,o1o	o,o2o
3	M.	o,25	o,2o	o,2o	o,22	o,o22	o,o2o	o,o22	o,o3o
4	B.	o,22	o,1o	o,14	o,14	o,o24	o,o2o	o,o2o	o,o2o
5	K.	o,15	o,1o	o,1o	o,1o	o,o2o	o,o2o	o,o22	o,o28
6	M.	o,2o	o,1o	o,11	o,11	o,o2o	o,o22	o,o23	o,o28
7	R.	o,2o	o,1o	o,12	o,1o	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o2o
8	R.	o,o5	o,o5	o,o5	o,o8	o,o1o	o,o1o	o,o2o	o,o2o
9	R.	o,o5	o,oo	o,oo	o,o2	o,o1o	o,ooo	o,ooo	o,oo8
1o	R.	o,15	o,1o	o,12	o,15	o,o18	o,o2o	o,o2o	o,o3o
11	R.	o,2o	o,1o	o,15	o,15	o,o2o	o,o2o	o,o22	o,o26
12	S.	o,2o	o,o5	o,o5	o,o8	o,o2o	o,o18	o,o2o	o,o22
13	D.	o,o5	o,oo	o,o6	o,1o	o,o1o	o,ooo	o,o2o	o,o2o
14	L.	o,24	o,12	o,12	o,15	o,o3o	o,o3o	o,o3o	o,o36
15	S.	o,2o	o,1o	o,15	o,2o	o,o2o	o,o28	o,o28	o,o3o
16	H.	o,5o	o,22	o,2o	o,15	o,o28	o,o2o	o,o22	o,o3o
17	R.	o,14	o,o5	o,1o	o,14	o,o3o	o,o18	o,o2o	o,o22
18	S.	o,37	o,2o	o,2o	o,22	o,o22	o,o2o	o,o2o	o,o3o
19	M.	o,28	o,2o	o,18	o,15	o,o22	o,o2o	o,o2o	o,o2o
2o	G.	o,1o	o,1o	o,1o	o,1o	o,o18	o,o2o	o,o2o	o,o2o
21	E.	o,oo	o,oo	o,oo	o,oo	o,ooo	o,ooo	o,ooo	o,ooo
22	S.	o,16	o,o6	o,o8	o,1o	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o2o
23	M.	o,1o	o,o8	o,o8	o,1o	o,o22	o,o22	o,o26	o,o3o
24	E.	o,15	o,1o	o,1o	o,1o	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o25
25	K.	o,oo	o,oo	o,oo	o,o5	o,ooo	o,ooo	o,ooo	o,o1o
26	P.	o,o5	o,oo	o,o5	o,1o	o,o1o	o,ooo	o,o1o	o,o2o
27	K.	o,15	o,1o	o,1o	o,1o	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o3o
28	H.	o,oo	o,oo	o,oo	o,o5	o,ooo	o,ooo	o,ooo	o,o18
29	M.	o,25	o,1o	o,1o	o,12	o,o22	o,o2o	o,o28	o,o28
3o	H.	o,12	o,o8	o,1o	o,12	o,o2o	o,o2o	o,o25	o,o32
31	V.	o,15	o,oo	o,o5	o,12	o,o25	o,ooo	o,o18	o,o22
32	H.	o,18	o,o7	o,o7	o,o7	o,o2o	o,o18	o,o18	o,o18
33	S.	o,25	o,oo	o,oo	o,o5	o,o2o	o,ooo	o,ooo	o,o14
34	W.	o,3o	o,18	o,14	o,12	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o2o
35	H.	o,18	o,o5	o,o5	o,1o	o,o22	o,o15	o,o18	o,o2o
36	B.	o,12	o,o6	o,o8	o,1o	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o3o
37	T.	o,35	o,2o	o,2o	o,2o	o,o3o	o,o22	o,o24	o,o28
38	S.	o,38	o,2o	o,2o	o,2o	o,o24	o,o2o	o,o2o	o,o22
39	W.	o,3o	o,14	o,14	o,15	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o22
4o	K.	o,2o	o,1o	o,12	o,18	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o22
41	S.	o,22	o,1o	o,14	o,2o	o,o2o	o,o2o	o,o25	o,o3o
42	G.	o,15	o,1o	o,1o	o,1o	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o28
43	B.	o,3o	o,1o	o,1o	o,1o	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o2o
44	D.	o,o6	o,o8	o,o8	o,o8	o,o15	o,o2o	o,o2o	o,o2o
45	L.	o,32	o,1o	o,o8	o,o8	o,o22	o,o2o	o,o2o	o,o2o
46	G.	o,1o	o,o8	o,o5	o,o5	o,o2o	o,o2o	o,o2o	o,o2o
47	W.	o,3o	o,11	o,11	o,13	o,o2o	o,o25	o,o25	o,o3o
48	B.	o,o5	o,o5	o,o5	o,o5	o,o1o	o,o18	o,o18	o,o18
49	S.	o,28	o,1o	o,1o	o,12	o,o28	o,o2o	o,o3o	o,o4o

Tabelle III / Fortsetzung

Patient		Q/mV in				Q/s in			
		D	V_7	V_8	V_9	D	V_7	V_8	V_9
50	B.	0,28	0,00	0,00	0,08	0,018	0,000	0,000	0,022
51	F.	0,55	0,20	0,20	0,25	0,030	0,024	0,030	0,038
52	J.	0,12	0,05	0,05	0,05	0,020	0,018	0,018	0,020
53	K.	0,05	0,00	0,00	0,04	0,015	0,000	0,000	0,016
54	K.	0,40	0,10	0,10	0,08	0,022	0,020	0,018	0,018
55	R.	0,55	0,22	0,25	0,25	0,025	0,020	0,020	0,022
56	R.	0,28	0,15	0,15	0,15	0,020	0,020	0,022	0,022
57	B.	0,12	0,05	0,05	0,08	0,012	0,020	0,020	0,020
58	L.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
59	S.	0,10	0,05	0,08	0,08	0,020	0,018	0,018	0,018
60	K.	0,18	0,10	0,10	0,12	0,020	0,020	0,028	0,030
61	R.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
62	R.	0,00	0,00	0,05	0,12	0,000	0,000	0,018	0,025
63	R.	0,50	0,20	0,20	0,15	0,025	0,022	0,022	0,025
64	W.	0,20	0,12	0,15	0,15	0,022	0,022	0,028	0,028
65	S.	0,20	0,15	0,18	0,20	0,018	0,018	0,018	0,020
66	K.	0,20	0,08	0,10	0,12	0,020	0,015	0,018	0,018
67	S.	0,30	0,12	0,12	0,10	0,030	0,020	0,022	0,032
68	B.	0,38	0,12	0,15	0,10	0,020	0,020	0,022	0,020
69	F.	0,20	0,08	0,08	0,08	0,020	0,018	0,020	0,022
70	L.	0,32	0,20	0,15	0,15	0,020	0,020	0,020	0,030
71	T.	0,20	0,10	0,10	0,10	0,020	0,030	0,032	0,028
72	T.	0,32	0,15	0,15	0,13	0,020	0,020	0,020	0,024
73	B.	0,22	0,15	0,15	0,18	0,022	0,022	0,028	0,030
74	G.	0,25	0,12	0,12	0,14	0,022	0,020	0,020	0,024
75	B.	0,05	0,00	0,00	0,08	0,010	0,000	0,000	0,018
76	P.	0,10	0,00	0,04	0,05	0,010	0,000	0,010	0,010
77	B.	0,08	0,08	0,08	0,08	0,020	0,020	0,022	0,030
78	K.	0,88	0,20	0,20	0,20	0,022	0,022	0,024	0,030
79	B.	0,28	0,08	0,08	0,15	0,032	0,020	0,020	0,030
80	B.	0,10	0,10	0,10	0,15	0,018	0,010	0,015	0,030
81	K.	0,42	0,12	0,12	0,18	0,022	0,020	0,020	0,030
82	S.	0,20	0,06	0,08	0,10	0,020	0,018	0,020	0,024
83	M.	0,20	0,10	0,12	0,12	0,020	0,018	0,020	0,025
84	G.	0,00	0,05	0,10	0,10	0,000	0,020	0,022	0,030
85	B.	0,35	0,10	0,10	0,10	0,022	0,020	0,020	0,030
86	G.	0,18	0,08	0,08	0,10	0,018	0,012	0,018	0,020
87	J.	0,15	0,05	0,08	0,10	0,012	0,010	0,015	0,018
88	S.	0,15	0,14	0,10	0,08	0,022	0,020	0,020	0,020
89	W.	0,02	0,00	0,05	0,05	0,005	0,000	0,016	0,018
90	K.	0,20	0,12	0,15	0,18	0,020	0,020	0,020	0,020
91	S.	0,10	0,05	0,05	0,05	0,020	0,013	0,020	0,020
92	B.	0,20	0,08	0,08	0,08	0,020	0,020	0,022	0,024
93	B.	0,05	0,04	0,04	0,04	0,010	0,010	0,010	0,010
94	R.	0,08	0,05	0,05	0,04	0,018	0,010	0,010	0,008
95	H.	0,05	0,00	0,02	0,02	0,012	0,000	0,008	0,010
96	A.	0,00	0,05	0,08	0,15	0,000	0,010	0,025	0,030
97	S.	0,00	0,00	0,00	0,05	0,000	0,000	0,000	0,018
98	S.	0,00	0,00	0,00	0,11	0,000	0,000	0,000	0,040
99	K.	0,15	0,08	0,08	0,15	0,020	0,020	0,020	0,025

Tabelle IV

Patient	R/mV in V_7	V_8	V_9	D	(Q(mV)/R(mV))·1oo in V_7	V_8	V_9
1 A.	o,9o	o,8o	o,46	2,79	1,11	1,25	1o,87
2 K.	1,42	1,oo	o,7o	o,oo	o,7o	2,oo	8,57
3 M.	1,35	1,o3	o,9o	12,63	14,81	19,42	24,44
4 B.	1,3o	1,17	o,98	9,48	7,69	11,97	14,29
5 K.	1,2o	1,oo	o,85	8,57	8,33	1o,oo	11,76
6 M.	1,2o	1,1o	o,7o	9,52	8,33	1o,oo	15,71
7 R.	1,15	1,o5	1,oo	1o,53	8,7o	11,43	1o,oo
8 R.	o,75	o,45	o,5o	4,17	6,67	11,11	16,oo
9 R.	o,8o	o,75	o,5o	3,33	o,oo	o,oo	4,oo
1o R.	1,1o	o,82	o,65	8,82	9,1o	14,63	23,o8
11 R.	o,9o	o,65	o,6o	12,6o	11,11	23,o8	25,oo
12 S.	1,o5	o,95	o,75	8,7o	4,76	5,26	1o,67
13 D.	o,75	o,7o	o,7o	2,5o	o,oo	8,57	14,29
14 L.	1,56	1,39	1,29	7,14	7,69	8,63	11,63
15 S.	1,38	1,15	o,46	7,14	7,25	13,o4	43,49
16 H.	1,3o	o,98	o,7o	23,15	16,92	2o,41	21,43
17 R.	1,92	o,95	o,65	5,83	2,6o	1o,53	21,54
18 S.	1,4o	1,oo	o,76	13,7o	14,29	2o,oo	28,95
19 M.	1,55	1,25	o,95	12,17	12,5o	14,4o	15,79
2o G.	o,9o	o,7o	o,56	6,58	11,11	14,29	17,86
21 E.	1,1o	o,95	o,65	o,oo	o,oo	o,oo	o,oo
22 S.	o,7o	o,6o	o,45	9,7o	8,57	13,33	22,22
23 M.	o,5o	o,4o	o,35	12,5o	16,oo	2o,oo	28,57
24 E.	1,1o	o,89	o,5o	7,25	9,1o	11,24	2o,oo
25 K.	o,98	o,52	o,4o	o,oo	o,oo	o,oo	12,5o
26 P.	o,7o	o,65	o,57	3,45	o,oo	7,69	17,54
27 K.	1,35	1,15	o,7o	6,98	7,41	8,7o	14,29
28 H.	o,45	o,35	o,23	o,oo	o,oo	o,oo	21,74
29 M.	o,95	o,82	o,65	14,53	1o,53	12,2o	18,46
3o H.	o,8o	o,65	o,4o	7,74	1o,oo	15,38	3o,oo
31 V.	o,92	o,65	o,4o	8,82	o,oo	7,69	3o,oo
32 H.	o,95	o,7o	o,46	1o,34	7,37	1o,oo	15,22
33 S.	1,2o	o,85	o,75	8,93	o,oo	o,oo	6,67
34 W.	1,52	1,26	o,8o	1o,71	11,84	11,11	15,oo
35 H.	1,o5	o,9o	o,55	1o,oo	4,76	5,56	18,18
36 B.	o,85	o,8o	o,42	7,o6	7,o6	1o,oo	23,81
37 T.	1,6o	1,2o	o,72	12,o7	12,5o	16,67	27,78
38 S.	1,15	o,9o	o,45	19,49	17,39	22,22	44,44
39 W.	1,2o	1,o5	o,7o	12,5o	11,67	13,33	21,43
4o K.	o,92	o,9o	o,65	11,17	1o,87	13,33	27,69
41 S.	o,6o	o,48	o,3o	19,64	16,67	29,17	66,67
42 G.	1,3o	1,oo	o,64	7,5o	7,69	1o,oo	15,63
43 B.	1,o5	o,85	o,55	15,oo	9,52	11,76	18,18
44 D.	o,81	o,74	o,66	3,94	9,88	1o,81	12,12
45 L.	o,8o	o,62	o,4o	16,84	12,5o	12,9o	2o,oo
46 G.	1,oo	o,8o	o,6o	5,oo	8,oo	6,25	8,33
47 W.	o,95	o,65	o,35	25,oo	11,58	16,92	37,14
48 B.	o,94	o,7o	o,54	2,27	5,32	7,14	9,26
49 S.	1,1o	o,86	o,75	9,27	9,o9	11,63	16,oo

Tabelle IV / Fortsetzung

Patient	R/mV in				(Q(mV)/R(mV))·1oo in		
	V_7	V_8	V_9	D	V_7	V_8	V_9
5o B.	o,68	o,55	o,2o	14,58	o,oo	o,oo	4o,oo
51 F.	o,78	o,6o	o,28	32,35	25,64	33,33	89,29
52 J.	1,3o	o,82	o,55	5,71	3,85	6,1o	9,o9
53 K.	1,15	o,75	o,32	2,62	o,oo	o,oo	12,5o
54 K.	1,7o	1,45	o,82	13,99	5,88	6,9o	9,76
55 R.	1,2o	1,o7	o,82	26,83	18,33	23,36	3o,49
56 R.	1,54	1,o5	o,66	1o,22	9,74	14,29	22,72
57 B.	1,oo	o,9o	o,57	6,32	5,oo	5,56	14,o4
58 L.	o,65	o,44	o,37	o,oo	o,oo	o,oo	o,oo
59 S.	o,8o	1,oo	o,85	6,45	6,25	8,oo	9,41
6o K.	2,6o	1,35	o,8o	6,32	3,85	7,41	15,oo
61 R.	1,oo	o,88	o,75	o,oo	o,oo	o,oo	o,oo
62 R.	o,42	o,42	o,54	o,oo	o,oo	11,9o	22,22
63 R.	1,o8	o,82	o,5o	27,o3	18,52	24,39	3o,oo
64 W.	o,83	o,7o	o,5o	12,35	14,46	21,43	3o,oo
65 S.	o,88	o,8o	o,68	13,79	17,o5	22,5o	29,41
66 K.	o,85	o,52	o,49	12,66	9,41	19,23	24,49
67 S.	o,83	o,73	o,54	17,44	14,46	16,44	18,52
68 B.	o,8o	o,62	o,38	2o,65	15,oo	24,19	26,32
69 F.	o,58	o,35	o,1o	16,95	13,79	22,86	8o,oo
7o L.	o,96	o,52	o,32	18,29	2o,83	28,85	46,86
71 T.	o,85	o,62	o,4o	15,38	11,76	16,13	25,oo
72 T.	o,48	o,4o	o,2o	29,63	31,25	37,5o	65,oo
73 B.	o,75	o,5o	o,35	17,6o	2o,oo	3o,oo	51,43
74 G.	o,72	o,48	o,28	2o,oo	16,67	25,oo	5o,oo
75 B.	o,65	o,44	o,42	4,55	o,oo	o,oo	19,o5
76 P.	o,7o	o,4o	o,35	7,41	o,oo	1o,oo	14,29
77 B.	o,68	o,42	o,3o	5,8o	11,76	19,o5	16,67
78 K.	o,92	o,66	o,3o	39,11	21,74	3o,3o	66,67
79 B.	o,98	o,75	o,5o	13,46	8,16	1o,67	3o,oo
8o B.	1,11	o,79	o,45	5,o5	9,o1	12,66	33,33
81 K.	o,6o	o,42	o,3o	36,21	2o,oo	28,57	6o,oo
82 S.	o,56	o,36	o,24	15,87	1o,71	22,22	41,67
83 M.	1,1o	o,8o	o,36	1o,1o	9,1o	15,oo	33,33
84 G.	o,92	o,62	o,3o	o,oo	5,43	16,13	33,33
85 B.	1,48	1,o2	o,6o	11,67	6,76	9,8o	16,67
86 G.	1,2o	o,93	o,52	8,oo	6,67	8,6o	19,23
87 J.	o,6o	o,38	o,3o	12,oo	8,33	21,o5	33,33
88 S.	1,62	1,oo	o,68	6,94	8,64	2o,oo	11,76
89 W.	1,o3	o,88	o,6o	1o,oo	o,oo	5,68	8,33
9o K.	1,o5	1,oo	o,9o	9,76	11,43	15,oo	2o,oo
91 S.	o,43	o,4o	o,35	8,93	11,63	12,5o	14,28
92 B.	o,95	o,78	o,7o	11,43	8,42	1o,26	11,43
93 B.	1,85	1,4o	1,1o	2,oo	2,16	2,86	3,64
94 R.	o,92	o,78	o,45	4,71	5,43	6,41	8,89
95 H.	o,94	o,5o	o,45	2,5o	o,oo	4,oo	4,44
96 A.	o,7o	o,58	o,32	o,oo	7,14	13,79	46,88
97 S.	o,67	o,55	o,42	o,oo	o,oo	o,oo	11,9o
98 S.	o,5o	o,2o	o,2o	o,oo	o,oo	o,oo	55,oo
99 K.	o,7o	o,46	o,32	11,54	11,43	17,39	46,88

Tabelle V/Mittelwerte

	Durchschnittsalter der Patienten	Zahl der Patienten
Normaler Umschlagspunkt/ Keine Linkshypertrophie	37,07 J.	28
Linksrotation/ Keine Linkshypertrophie	49,76 J.	34
Rechtsrotation/ Keine Links- oder Rechtshypertrophie	56,44 J.	9
Normaler Umschlagspunkt/ Linkshypertrophie	43,54 J.	13
Linksrotation/ Linkshypertrophie	54,50 J.	12
Rechtsrotation/ Links- und Rechtshypertrophie	59,67 J.	3

Tabelle VI/Mittelwerte

	R_I/mV	R_{II}/mV	α
Normaler Umschlagspunkt/ Keine Linkshypertrophie	0,59±0,34	1,08±0,32	53,13±24,41
Linksrotation/ Keine Linkshypertrophie	0,86±0,26	0,90±0,41	31,67±25,63
Rechtsrotation/ Keine Links- oder Rechtshypertrophie	0,64±0,45	0,51±0,74	21,74±55,53
Normaler Umschlagspunkt/ Linkshypertrophie	0,98±0,23	1,03±0,68	29,35±27,50
Linksrotation/ Linkshypertrophie	1,26±0,45	1,41±0,41	36,54±16,79
Rechtsrotation/ Links- und Rechtshypertrophie	1,00±0,28	1,00±0,27	29,70±15,50

Tabelle VII/Mittelwerte

	R_D/mV	R_A/mV	∢ σ
Normaler Umschlagspunkt/ Keine Linkshypertrophie	1,81±0,41	2,39±0,63	87,87±18,22
Linksrotation/ Keine Linkshypertrophie	1,61±0,38	2,72±0,61	72,55±11,21
Rechtsrotation/ Keine Links- oder Rechtshypertrophie	1,46±0,57	1,23±0,74	119,29±35,31
Normaler Umschlagspunkt/ Linkshypertrophie	2,05±0,71	2,86±0,74	82,38±13,50
Linksrotation/ Linkshypertrophie	2,39±0,46	2,65±0,30	77,06±12,38
Rechtsrotation/ Links- und Rechtshypertrophie	2,55±0,28	1,78±0,93	132,91±32,74

Tabelle VIII /Mittelwerte

	Q_D/mV	Q_{V_7}/mV	Q_{V_8}/mV	Q_{V_9}/mV
Normaler Umschlagspunkt/ Keine Linkshypertrophie	0,13±0,11	0,07±0,06	0,09±0,07	0,10±0,06
Linksrotation/ Keine Linkshypertrophie	0,21±0,12	0,09±0,05	0,10±0,05	0,11±0,04
Rechtsrotation/ Keine Links- oder Rechtshypertrophie	0,08±0,07	0,04±0,05	0,05±0,05	0,07±0,05
Normaler Umschlagspunkt/ Linkshypertrophie	0,20±0,14	0,09±0,07	0,10±0,06	0,12±0,04
Linksrotation/ Linkshypertrophie	0,33±0,22	0,13±0,05	0,13±0,05	0,14±0,06
Rechtsrotation/ Links- und Rechtshypertrophie	0,17±0,12	0,11±0,08	0,11±0,07	0,10±0,06

Tabelle IX/Mittelwerte

	Q_D/s	Q_{V_7}/s	Q_{V_8}/s	Q_{V_9}/s
Normaler Umschlagspunkt/ Keine Linkshypertrophie	0,015±0,008	0,014±0,009	0,016±0,009	0,021±0,008
Linksrotation/ Keine Linkshypertrophie	0,018±0,006	0,017±0,007	0,019±0,007	0,023±0,005
Rechtsrotation/ Keine Links- oder Rechtshypertrophie	0,011±0,009	0,009±0,007	0,12±0,009	0,016±0,008
Normaler Umschlagspunkt/ Linkshypertrophie	0,021±0,008	0,016±0,010	0,018±0,009	0,027±0,007
Linksrotation/ Linkshypertrophie	0,024±0,005	0,020±0,003	0,022±0,005	0,028±0,007
Rechtsrotation/ Links- und Rechtshypertrophie	0,017±0,006	0,017±0,006	0,019±0,009	0,020±0,010

Tabelle X/Mittelwerte

	R_{V_7}/mV	R_{V_8}/mV	R_{V_9}/mV
Normaler Umschlagspunkt/ Keine Linkshypertrophie	1,00±0,25	0,84±0,23	0,64±0,19
Linksrotation/ Keine Linkshypertrophie	0,85±0,21	0,64±0,20	0,41±0,15
Rechtsrotation/ Keine Links- oder Rechtshypertrophie	0,78±0,25	0,64±0,22	0,53±0,18
Normaler Umschlagspunkt/ Linkshypertrophie	1,12±0,41	0,82±0,32	0,61±0,28
Linksrotation/ Linkshypertrophie	1,27±0,31	0,92±0,24	0,56±0,18
Rechtsrotation/ Links- und Rechtshypertrophie	2,00±0,54	1,33±0,08	0,95±0,15

Tabelle XI/Mittelwerte

	(Q(mV)/R(mV)) · 100 in			
	D	V_7	V_8	V_9
Normaler Umschlagspunkt/ Keine Linkshypertrophie	7,41±5,85	6,77±5,73	10,01±7,60	16,98±9,84
Linksrotation/ Keine Linkshypertrophie	13,72±8,43	11,05±6,81	16,33±9,20	32,53±18,19
Rechtsrotation/ Keine Links- oder Rechtshypertrophie	4,63±4,26	5,18±4,70	7,31±5,44	11,28±7,01
Normaler Umschlagspunkt/ Linkshypertrophie	9,23±5,56	7,99±5,70	11,48±6,60	23,62±11,83
Linksrotation/ Linkshypertrophie	14,20±10,54	10,84±6,42	14,78±8,56	30,53±24,29
Rechtsrotation/ Links- und Rechtshypertrophie	6,83±5,11	6,30±5,78	8,22±5,81	11,48±6,80

C. ERGEBNISSE

I. MESSWERTE UND DARAUS BERECHNETE GRÖSSEN

Folgende Meßwerte und Rechengrößen wurden den Untersuchungen zugrunde gelegt:

Tabelle I: Alter der Patienten, R_I/mV, R_{II}/mV, Winkel α
R_D/mV, R_A/mV, Winkel σ

Tabelle II: R_{V_3}/mV, S_{V_3}/mV, (R(mV)/S(mV)) · 100 in V_3

R_{V_4}/mV, S_{V_4}/mV, (R(mV)/S(mV)) · 100 in V_4

Tabelle III: Q/mV in Nehb-D, V_{7-9}

Q/s in Nehb-D, V_{7-9}

Tabelle IV: R/mV in V_{7-9}

(Q(mV)/R(mV)) · 100 in Nehb-D, V_{7-9}

Tabelle V: Mittelwerte für das Alter der Patienten in den einzelnen Gruppen, Zahl der Patienten in den Gruppen.

Tabelle VI: Mittelwerte für R_I/mV, R_{II}/mV, Winkel α

Tabelle VII: Mittelwerte für R_D/mV, R_A/mV, Winkel σ

Tabelle VIII: Mittelwerte für Q/mV in Nehb-D, V_{7-9}

Tabelle IX: Mittelwerte für Q/s in Nehb-D, V_{7-9}

Tabelle X: Mittelwerte für R/mV in V_{7-9}

Tabelle XI: Mittelwerte für (Q(mV)/R(mV)) · 100 in Nehb-D, V_{7-9}

Die in den Tabellen verzeichneten Meßgrößen waren größtenteils normal verteilt. Lediglich für die Werte von S_{V_3} und S_{V_4} ließ sich das in den Fällen von Linksrotation und regelrechter Übergangszone, jeweils nur beim Fehlen von Linkshypertrophiezeichen, nicht nachwei-

sen. Es ist aber anzunehmen, daß sich die bestehenden Verteilungen bei zunehmenden Patientenzahlen einer Normalverteilung nähern.

Im Rahmen der Meßergebnisse sollen die Methoden zur Berechnung von Winkel α und δ und zur Kennzeichnung der Rotation Erwähnung finden:

a) Berechnung von Winkel α

Der Positionstyp des Herzens wurde analog den Verhältnissen im EINTHOVEN'schen Dreieck (Abb. 1) mathematisch berechnet. Es handelt sich um ein gleichseitiges Dreieck, bei dem je zwei Ableitungen einen Winkel von 60° einschließen. Zur Konstruktion des Winkels fanden die größten Ausschläge der Kammerkomplexe in den Extremitätenableitungen I und II nach EINTHOVEN Verwendung, die jeweils von der Mitte der entsprechenden Ableitlinie in den Dreiecksmittelpunkt projiziert wurden:

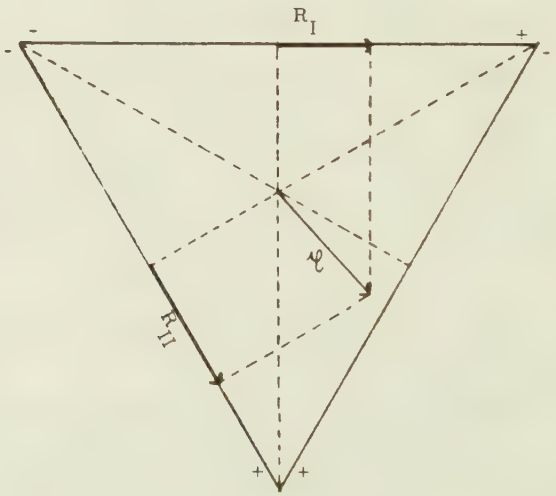

Abb. 1: Dreieck nach EINTHOVEN
$\vec{e}$ stellt hier die elektrische Herzachse mit dem Betrag $|\vec{e}|$ dar.

Zur vektoriellen Berechnung des Winkels α wurden ein rechtwinkliges Koordinatensystem geschaffen und unter Berücksichtigung der Gleichseitigkeit im EINTHOVEN'schen Dreieck die Einheitsvektoren $\vec{n}_1$ und $\vec{n}_2$ in Richtung der Ableitlinien I und II angenommen. l_1 und l_2 sind die in mm gemessenen Werte von R_I und R_{II}. Winkel α schließlich ist der Winkel, den die elektrische Herzachse mit der Horizontalen einschließt.

Abb. 2 zeigt die geometrischen Grundlagen für die Berechnung des Winkels α.

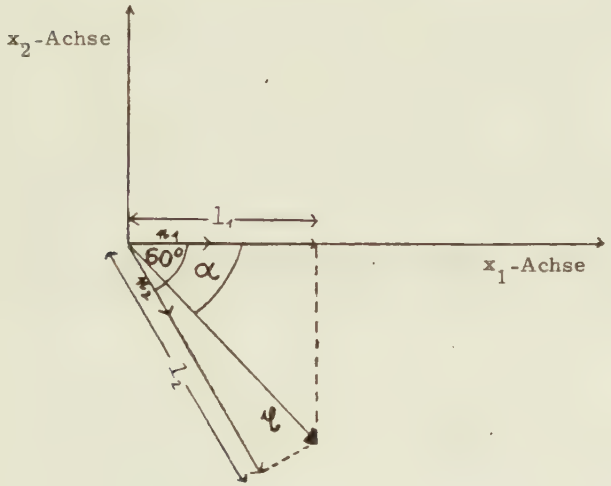

Abb. 2: Geometrische Grundlagen für die Berechnung des Winkels α

$$\vec{l} \cdot \vec{n}_1 = l_1; \quad \vec{l} \cdot \vec{n}_2 = l_2; \quad \vec{n}_1 = (1;0); \quad \vec{n}_2 = (1/2; -\frac{\sqrt{3}}{2})$$

Die Werte für den Einheitsvektor $\vec{n}_2$ berechnen sich nach den Regeln für rechtwinklige Dreiecke: Der Betrag von $\vec{n}_2$ mißt in Richtung der x_1-Achse $\cos 60^\circ = 1/2$, in Richtung der x_2-Achse - $\sin 60^\circ = -\sqrt{3}/2$:

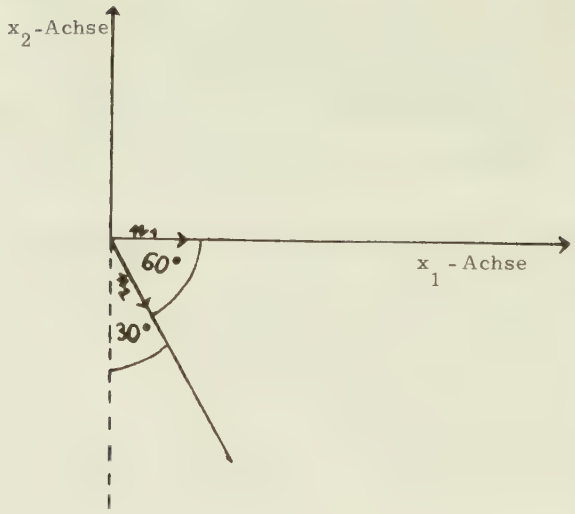

Abb. 3: Geometrische Grundlagen zur Berechnung des Einheitsvektors n_2 in Richtung der Ableitlinie II im EINTHOVEN'schen Dreieck

$$\mathfrak{l} \cdot n_1 = + x_1$$

$$\mathfrak{l} \cdot n_2 = + \frac{x_1}{2} - x_2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = l_2$$

$$l_2 = \left(\frac{l_1}{2} - x_2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$\frac{2 l_2 - l_1}{\sqrt{3}} = - x_2$$

$$\left\| \begin{array}{l} x_1 = l_1 \\ x_2 = - \dfrac{2 l_2 - l_1}{\sqrt{3}} \end{array} \right.$$

$$\mathfrak{l} - \left(l_1 - \frac{2 l_2 - l_1}{\sqrt{3}} \right)$$

$$|\vec{e}^2| = l_1^2 + \frac{4l_2^2 + l_1^2 - 4l_1l_2}{3} = \frac{4l_1^2 + 4l_2^2 - 4l_1l_2}{3}$$

$$|\vec{e}| = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - l_1l_2}$$

$$\cos\alpha = \frac{\vec{e} \cdot \vec{n}_1}{|\vec{e}|} = \frac{l_1}{|\vec{e}|}$$

$$\cos\alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + l_2^2 - l_1l_2}}$$

Diese Aussage gilt nur, wenn der Winkel α kleiner als 180° und größer als 0° ist, da sein Cosinus dann erneut einen Zyklus von -1 bis +1 durchläuft. Mathematisch bedeutet das, daß in der Formel $x_2 = -(2l_2 - l_1)/\sqrt{3}$ nicht größer als 0 werden darf, mithin $2l_2 - l_1$ nicht kleiner als 0, oder l_1 nicht mehr als $2l_2$ betragen darf. Wird also der Kammerkomplex in Ableitung I doppelt so groß, wie in Ableitung II, so muß der nach der Formel errechnete Wert mit -1 multipliziert werden, um den richtigen Winkel aus dem Cosinus zu erhalten.

b) Berechnung von Winkel δ

G.A. SCHULTE konstruierte 1967 ein Dreieck aus den mit einem Beckenzirkel gemessenen anatomischen Abständen der drei Ableitpunkte im Nehb'schen Dreieck [8]. Es stellt die Ableitlinien D, A und I dar, wobei A eine durchschnittliche Länge von 20 cm aufweist und auf der 15 cm langen Ableitung I senkrecht steht. D bildet die Hypothenuse von 25 cm Länge. Obwohl naturgemäß die absoluten Maße von Patient zu Patient variieren, bleibt die geometrische Beziehung der Ableitlinien untereinander weitgehend konstant.

Der Winkel δ läßt sich anhand des so gefundenen Dreiecks sogar zuverlässiger bestimmen, als der Winkel α im EINTHOVEN'schen Drei-

eck, das oft von der Gleichseitigkeit abweicht.

Winkel δ wird konstruiert, indem man die gemessenen Größen von R in D und A vom Mittelpunkt der entsprechenden Dreieckseiten aus abträgt. Die Spitze des Momentanvektors ergibt sich aus der senkrechten Projektion der gemessenen Vektoren, der Fußpunkt liegt im Dreiecksmittelpunkt. Der so konstruierte Vektor schließt den gesuchten Winkel mit der Ebene ein, die parallel zur Ableitung I durch den Dreiecksmittelpunkt verläuft:

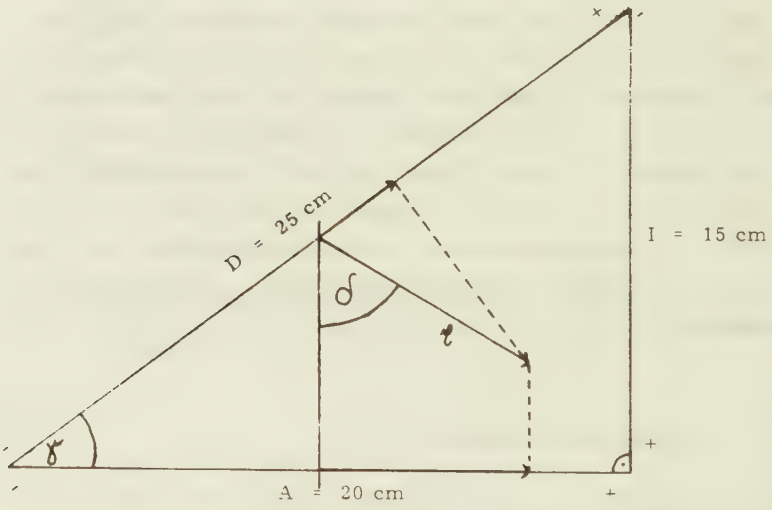

Abb. 4: Das NEHB'sche Dreieck nach Messungen von SCHULTE

SCHULTEs Formel zur Berechnung des Winkels wurde überprüft und präzisiert. Als Grundlage der Berechnung diente auch hier ein rechtwinkliges Koordinatensystem unter Einführung der Einheitsvektoren n_1 in Richtung der Ableitung A und n_2 in Richtung der Ableitung D. $\vec{\ell}$ bzw. $|\vec{\ell}|$ stellen die elektrische Herzachse und ihren Betrag dar, deren Projektion auf die Ableitungen A und D mit l_1 bzw. l_2 bezeichnet

wurden. Der Winkel γ ist der Winkel zwischen Ableitung A und D, sein Cosinus entspricht dem Betrag des Vektors $\mathfrak{n}_2$ in Richtung der x_1-Achse, sein Sinus dem in Richtung der x_2-Achse. Der Winkel β zwischen Ableitung D, bzw. x_1-Achse, und der elektrischen Herzachse dient als Hilfsgröße, die in der Formel zunächst berechnet wird. Cosinus β entspricht nämlich dem Sinus des gesuchten Winkels δ, der die Richtung der elektrischen Herzachse im NEHB'-schen Dreieck kennzeichnet (Abb. 5).

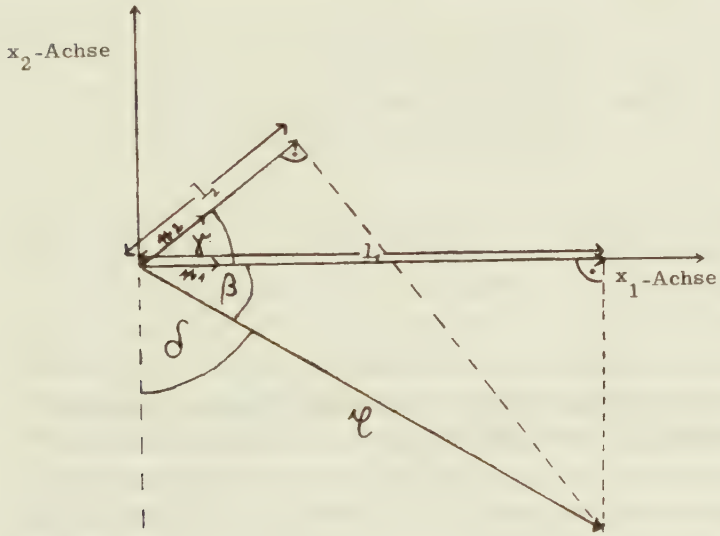

Abb. 5: Geometrische Grundlagen zur Berechnung des Winkels δ

$$\mathfrak{r} \cdot \mathfrak{n}_1 = l_1 \; ; \quad \mathfrak{r} \cdot \mathfrak{n}_2 = l_2 ; \quad \mathfrak{n}_1 = (1;0)$$

$$\mathfrak{n}_2 = (\cos\gamma ; \sin\gamma) = (4/5 ; 3/5)$$

$$\mathfrak{r} \cdot \mathfrak{n}_1 = x_1 = l_1$$

$$\mathfrak{r} \cdot \mathfrak{n}_2 = \frac{4x_1}{5} + \frac{3x_2}{5} = l_2$$

$$5l_2 - 4l_1 = 3x_2$$

$$x_2 = \frac{5l_2 - 4l_1}{3}$$

$$\left\| \begin{array}{l} x_1 = l_1 \\ x_2 = \dfrac{5l_2 - 4l_1}{3} \end{array} \right.$$

$$\cos\beta = \frac{n_1 \cdot \mathfrak{l}}{|\mathfrak{l}|}$$

$$\mathfrak{l} = x_1 + x_2 = l_1 + \frac{5l_2 - 4l_1}{3}$$

$$|\mathfrak{l}^2| = l_1^2 + \frac{(5l_2 - 4l_1)^2}{9}$$

$$\cos\beta = \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + \dfrac{(5l_2 - 4l_1)^2}{9}}} = \sin\delta$$

Aus den gleichen Gründen wie beim Winkel α gilt dies nur für Werte von β, die mindestens -180° und höchstens 0° betragen, das heißt, wenn δ zwischen -90° und $+90^\circ$ liegt. Im rechtwinkligen Koordinatensystem wird β dann größer als 0°, wenn $x_2 = (5l_2 - 4l_1)/3$ positive Werte annimmt. Wird also l_2 größer als $0,8l_1$, so subtrahiert man den errechneten Winkel von 180°.

c) Kennzeichnung der Rotation des Herzens

Als Maß für die Rotation des Herzens um seine Längsachse, die in den WILSON'schen Brustwandableitungen erkennbar wird, gilt der Quotient von R/S in den Ableitungen V_3 und V_4. Er wurde hier als prozentuales Verhältnis nach der Formel $(R/S) \cdot 100$ dargestellt.

Normalerweise ist dieser Quotient in Ableitung V_3 kleiner als 100, in Ableitung V_4 größer als 100. Demgemäß wurden als Linksrotation diejenigen Fälle charakterisiert, bei denen R bereits in V_3 größer als S bzw. der Quotient in V_3 größer als 100 war. Das Herz ist in diesem Fall, von seiner Spitze aus betrachtet, entgegen dem Uhrzeigersinn um seine Längsachse rotiert. Umgekehrt lag Rechtsrotation vor, wenn (R/S) • 100 auch in V_4 noch nicht den Wert 100 erreicht hatte.

II. BEZIEHUNGEN DER R-ZACKEN IN D UND A, SOWIE IN I UND II ZU WINKEL δ UND α IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ROTATION DES HERZENS (Tab. VI, VII)

Die Werte aus der Gruppe der Rechtsrotierten mit Linkshypertrophie können zur Interpretation nicht herangezogen werden, da es sich nur um drei Patienten handelt (Nr. 19, 60, 93). Sie sind nur als Ergänzung angefügt. Überhaupt bestehen Schwierigkeiten bei der Beurteilung der Patientengruppe mit Rechtsrotation. Es fällt auf, daß der Mittelwert für den Winkel α ungewöhnlich klein ist. Man muß also davon ausgehen, daß selbst beim Fehlen eindeutiger elektrokardiographischer und röntgenologischer Hypertrophiezeichen, und ohne klinisch nachgewiesenen Hypertonus eine Linkshypertrophie bzw. biventrikuläre Hypertrophie nicht sicher auszuschließen ist. Das höhere Durchschnittsalter dieser Patienten legt die Vermutung nahe, daß sich bei ihnen bereits eine stärkere Belastung des rechten Herzens, etwa durch emphysematische Veränderungen in der Lunge, entwickelt hat und sich in der Rechtsrotation ausdrückt, während die linkstypische Lage sich durch die mit fortgeschrittenem Alter übliche Linkshypertrophie oder durch einen pyknischen Habitus erklären läßt. Bei der Beurteilung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Gruppen habe ich mich daher hauptsächlich auf das Verhalten der Gruppen mit Linksrotation und mit normaler Übergangszone bezogen. Doch stimmen bei manchen zu untersuchenden Tatbeständen die Tendenzen bei Rechts-

rotation mit denen überein, die sich beim Vergleich der anderen Gruppen herauskristallisierten.

Dies zeigt sich besonders am Verhalten der R-Zacken in der NEHB'schen Ableitung und am Winkel δ.
Die Abb. 6, 7 und 8 verdeutlichen die Zusammenhänge zwischen den Mittelwerten für R_D, R_A und Winkel δ.

Abb. 6: Verhalten von R_D und R_A in Abhängigkeit von der Rotation/ Keine Linkshypertrophie

≡≡≡≡≡ = R_D, ═══ = R_A, jeweils mit Streubreite

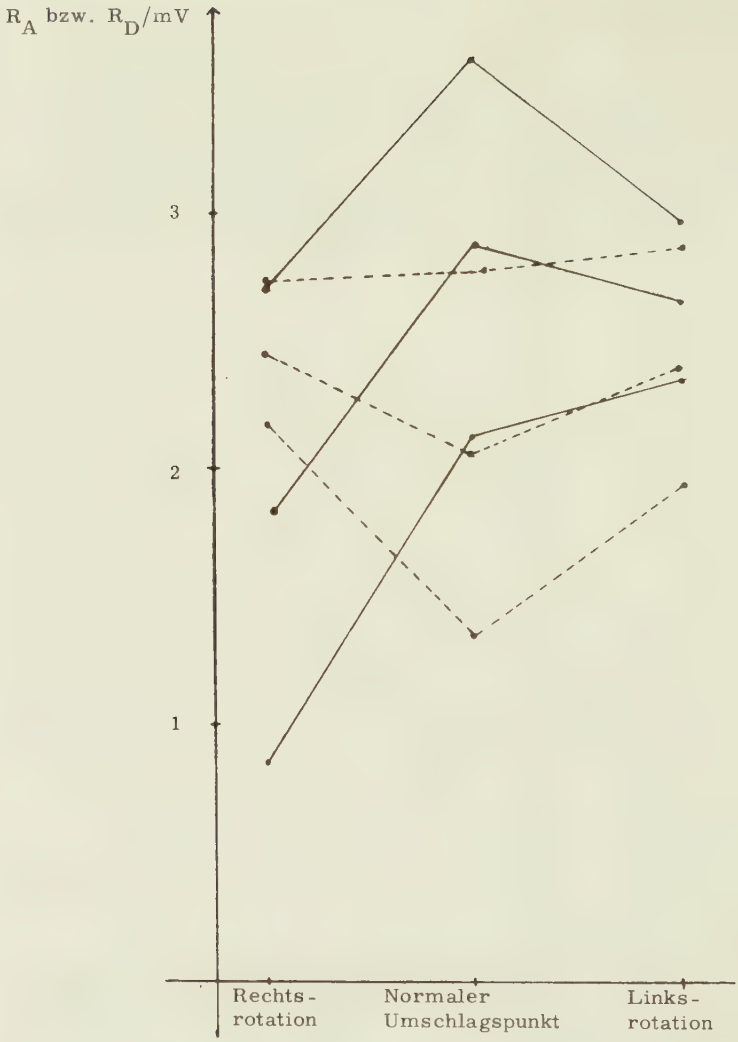

Abb. 7: Verhalten von R_D und R_A in Abhängigkeit von der Rotation bei Linkshypertrophie

≡≡≡≡ = R_D, ═══ = R_A, jeweils mit Streubreite

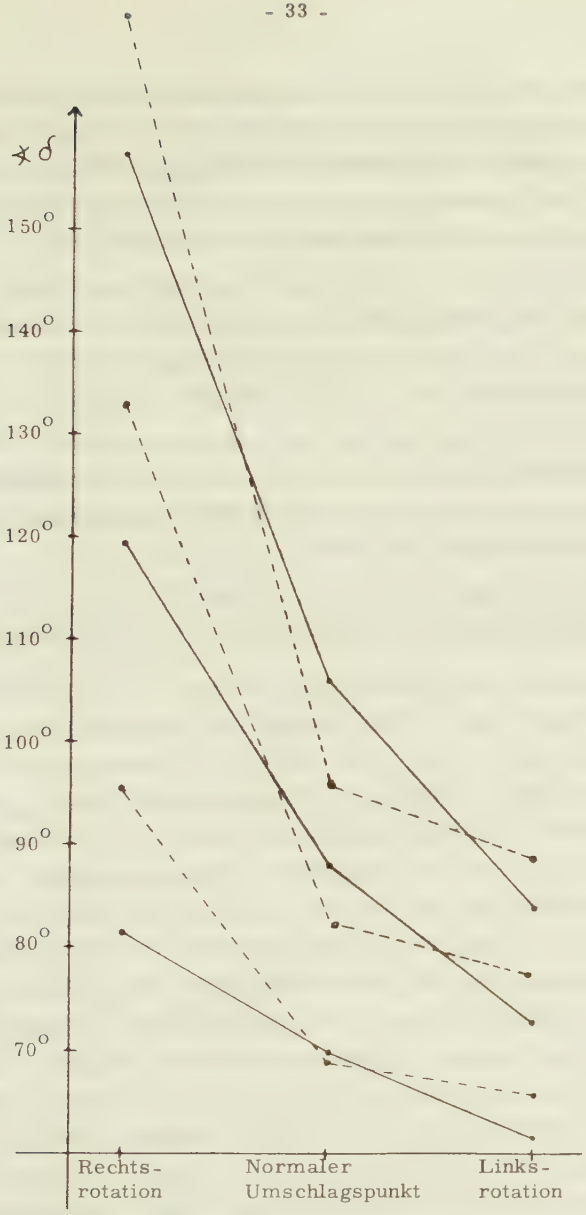

Abb. 8: Verhalten von Winkel δ in Abhängigkeit von der Rotation. ≡≡≡≡ = bei Linkshypertrophie, ═══ = ohne Linkshypertrophie, jeweils mit Streubreite

Aus Abb. 6 ergibt sich für die Patientengruppe ohne Links- oder Rechtshypertrophie ein auffälliges Anwachsen von R_A bei einer Rotation des Herzens von rechts nach links, während R_D nahezu gleich bleibt. Das Größenverhältnis von R_D zu R_A nimmt also kontinuierlich ab, was eine Verkleinerung des Winkels δ bedingt (Abb. 8).

Innerhalb der Gruppe mit normalem Umschlagspunkt, die in der Klinik den größten Teil des Patientenguts repräsentiert, wurde die Korrelation zwischen Winkel δ und dem Grad der Linksrotation, ausgedrückt durch $(R_{V_3}/S_{V_3}) \cdot 100$, erstellt. Es ergab sich ein negativer Zusammenhang mit dem Korrelationskoeffizienten $r = -0,3458$. Der t-Test für die Wahrscheinlichkeit des Zusammenhangs lieferte einen t-Wert von 1,8791, was einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % für das Ergebnis entspricht.

Ein Anwachsen der R-Zacke im Verhältnis zur S-Zacke in V_3 wird also eindeutig von einer Verkleinerung des Winkels δ begleitet.

Das Auftreten einer linksventrikulären Hypertrophie bewirkt, wie Abb. 7 zeigt, in der NEHB-Ableitung vor allem eine deutliche Größenzunahme von R_D. Auch R_A wird in der Patientengruppe mit normaler Übergangszone größer, und zwar noch stärker als R_D, weshalb der Mittelwert für den Winkel δ in dieser Gruppe um etwa $5,5^{\circ}$ niedriger liegt, als bei den Personen ohne Linkshypertrophie. Tritt zur Linkshypertrophie dagegen eine Linksrotation des Herzens, so verkleinert sich der Vektor R_A, während das durch die Linkshypertrophie bedingte Wachstum von R_D unbeeinflußt bleibt. Die Größe von R_D nähert sich der von R_A und somit wird auch der Winkel δ wieder etwas größer, als bei Patienten ohne Linkshypertrophie (Abb. 8). Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Gruppe mit Rechtsrotation und Linkshypertrophie nur aus drei Patienten gebildet wurde und deshalb nur unter starken Vorbehalten zur Beurteilung herangezogen werden kann. Der deutliche Größenunterschied in Abb. 8 zwischen Winkel δ bei Rechtsrotation und normalem Umschlagspunkt besitzt daher nur sehr beschränkte Aussagekraft. Die Mittelwerte für die Gruppen mit

normalem Umschlagspunkt und Linksrotation bei Linkshypertrophie in Abb. 8 führen zu dem Schluß, daß Winkel δ hier kaum verwertbare Hinweise auf die Übergangszone in den Brustwandableitungen gibt. Sie zeigen aber, daß eine Größenzunahme der R-Zacke in NEHB-D den Verdacht auf eine Hypertrophie des linken Ventrikels wecken sollte, die bei einer starken Annäherung der R-Größe in D an die in A oft mit einer Linksrotation kombiniert ist. Besteht dagegen eine isolierte Linksrotation ohne faßbare Linkshypertrophie, so klaffen die Werte von R_D und R_A weiter auseinander, als bei Personen mit regelrechter Übergangszone.

Als weniger zuverlässig erweist sich im Zusammenhang mit der Rotation die Beurteilung der EINTHOVEN'schen Extremitätenableitungen. Die Abb. 9, 10 und 11 illustrieren das Verhalten der Mittelwerte von R_I, R_{II} und Winkel α in Abhängigkeit von der Rotation, wobei wieder die Gruppen ohne und mit einer Hypertrophie des linken Ventrikels gesondert betrachtet werden.

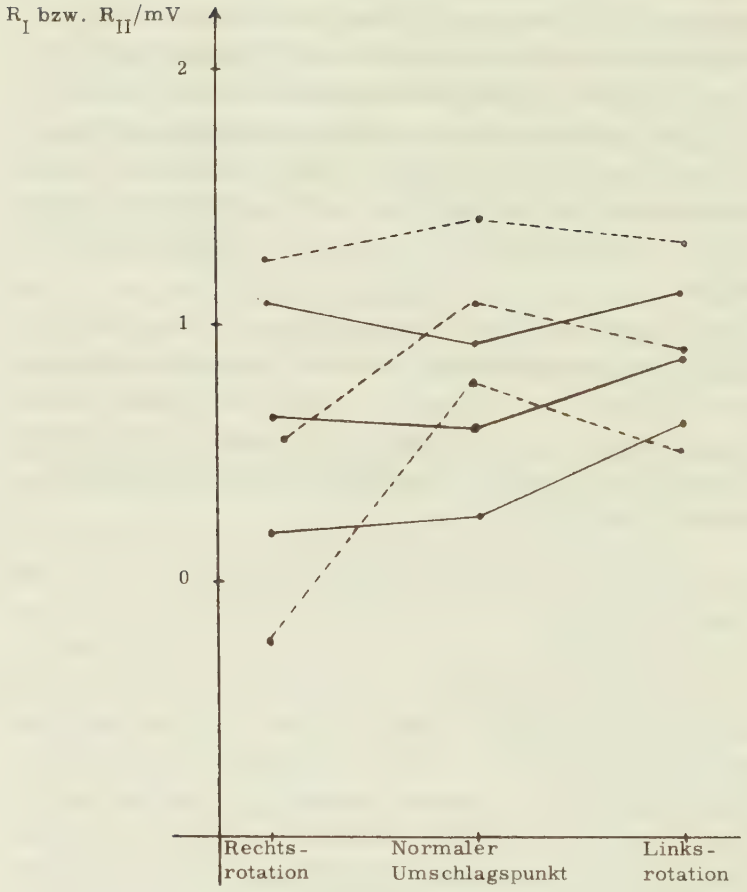

Abb. 9: R_I und R_{II} in Abhängigkeit von der Rotation/Keine Linkshypertrophie.

═══ = R_I, ≡≡≡≡≡ = R_{II}, jeweils mit Streubreite

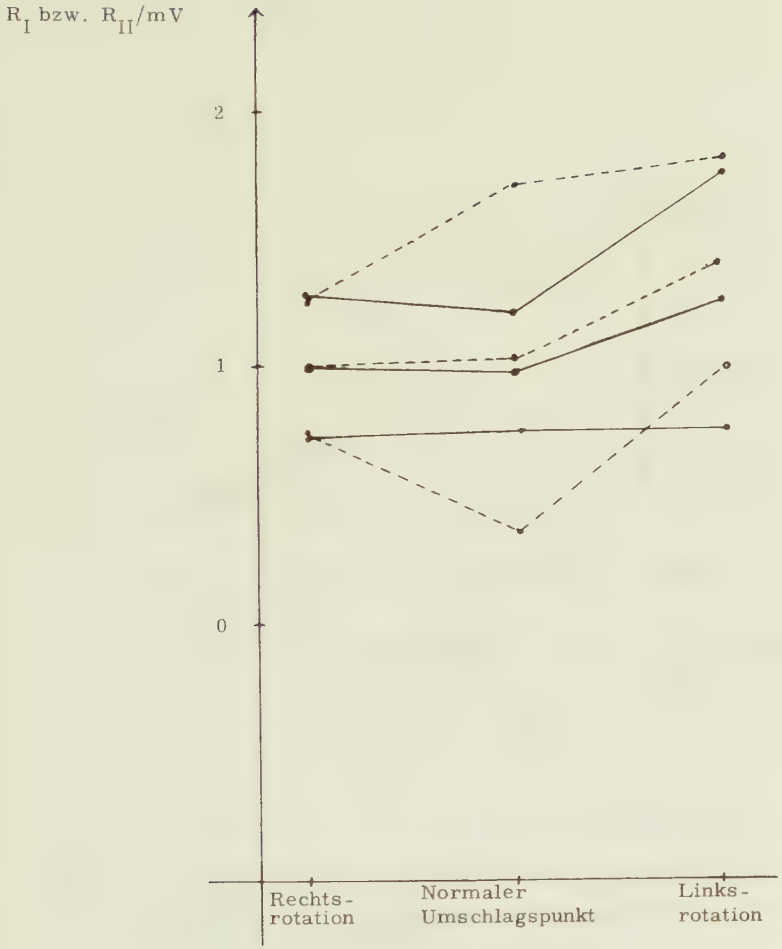

Abb. 10: R_I und R_{II} in Abhängigkeit von der Rotation bei Linkshypertrophie.

≡≡≡ = R_I, ≡≡≡≡ = R_{II}, jeweils mit Streubreite

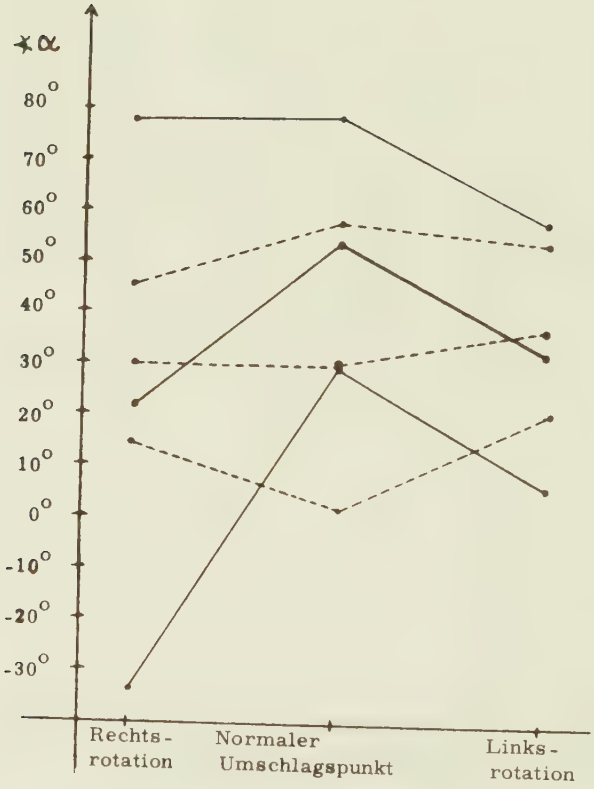

Abb. 11: Winkel α in Abhängigkeit von der Rotation
═══ ohne Linkshypertrophie, ≡≡≡ mit Linkshypertrophie, jeweils mit Streubreite

Die Abb. 9 und 11 veranschaulichen die Verhältnisse für R_I, R_{II} und Winkel α. Für Personen ohne Linkshypertrophie gilt: Der Mittelwert von R_I wird bei Linksrotation größer als bei normalem Umschlagspunkt, R_{II} nimmt ab, was einen kleineren Mittelwert für den Winkel α verursacht. Dies deckt sich mit der Erfahrung, daß mit zunehmendem Alter das Überwiegen linksorientierter Lagetypen und häufigeres Auftreten von Linksrotation als physiologisch anzusehen sind. Auch im untersuchten Kollektiv lag das Durchschnittsalter bei Linksrotation mit 49,76 Jahren höher, als das durchschnittliche Alter von 37,07 Jahren der Probanden mit normaler Übergangszone.

Die mathematische Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Winkel α und zunehmender Linksrotation, auch hier wieder für die Patientengruppe mit normaler Übergangszone und ohne Linkshypertrophie, ergab einen Korrelationskoeffizienten r = -0,5319 bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 99,5 % (t = 3,2027).

Je größer also der Wert $(R_{V_3}/SV_3) \cdot 100$ wird, umso linkstypischer ist in der Regel der Winkel α.
Schwierigkeiten machte in diesem Zusammenhang die Patientengruppe mit Rechtsrotation. Der Winkel α war im Mittel hier sehr klein, das Durchschnittsalter lag höher, als in den anderen Gruppen. Während sich das höhere Alter und die linkstypische Lage gut in Einklang bringen lassen, deutet die Rechtsrotation in den Brustwandableitungen auf eine mögliche Belastung des rechten Herzens, die jedoch nicht so ausgeprägt ist, daß sie sich in den klinischen Befunden niedergeschlagen hätte. Die Ergebnisse für diese Gruppe sind daher vorsichtig zu beurteilen. Tritt eine Hypertrophie des linken Ventrikels auf, so ist es nicht mehr gerechtfertigt, aus einer linkstypischen Lage auf eine Linksrotation in den Brustwandableitungen zu schließen, da nun die elektrische Herzachse in den Extremitätenableitungen unabhängig von der Rotation nach links gerichtet ist. Dies wird in Abb. 10 und 11 deutlich.

III. BEZIEHUNGEN DER Q-ZACKEN IN D ZU V_{7-9} UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER R-ZACKEN UND IHRE ABHÄNGIGKEIT VON DER ROTATION DES HERZENS (Tab. VIII, IX, X, XI)

Q_D verhält sich bekanntlich ähnlich wie die Q-Zacken in den hinteren Brustwandableitungen. Besonders gute Beziehungen bestehen im untersuchten Kollektiv zu Q_{V_7} und Q_{V_8}, bei Linkshypertrophie auch zu Q_{V_9}. Wird also Q_D größer, so nehmen im allgemeinen vor allem Q_{V_7} und Q_{V_8} ebenfalls zu. Die absolute Tiefe von Q_D übertrifft dagegen meist auch die von Q_{V_9}, das in den hinteren Brustwandableitungen normalerweise schon durch den Kontrast zu dem kleinen R am auffälligsten ist. Die mittlere Breite von Q_D liegt zwischen der von Q_{V_7} und Q_{V_8}.

Dementsprechend zeigen die Q-Zacken in NEHB-D und den hinteren Brustwandableitungen ähnliche Abhängigkeiten von der Rotation des Herzens. Bei zunehmender Linksrotation werden sie tiefer und breiter.

Die Abb. 12 und 13 zeigen das Verhalten der mittleren Q-Tiefe in NEHB-D und V_8.

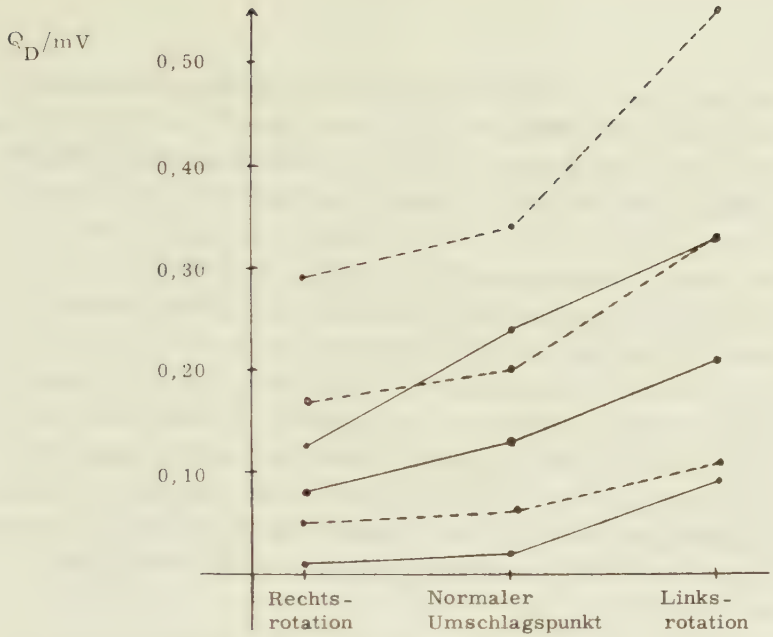

Abb. 12: Q_D in Abhängigkeit von der Rotation
≡≡≡≡≡ bei Linkshypertrophie, ═══ ohne Linkshypertrophie, jeweils mit Streubreite

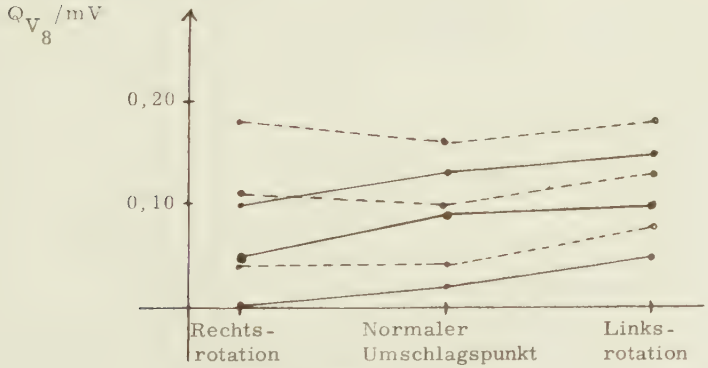

Abb. 13: Q_{V_8} in Abhängigkeit von der Rotation
≡≡≡≡≡ bei Linkshypertrophie, ═══ ohne Linkshypertrophie, jeweils mit Streubreite

Bei einer Rotation des Herzens von rechts nach links vergrößern sich die Q-Zacken in NEHB-D und V_{7-9}. Da Q_D in der Regel tiefer als Q_{V_8} ist, stellt sich die Änderung der Tiefe in Abhängigkeit von der Rotation in Abb. 12 deutlicher dar. Sie besteht jedoch genauso in den hinteren Brustwandableitungen, für die hier V_8 stellvertretend steht. Wie bei den übrigen Ergebnissen sei hier noch einmal die geringe Zahl der Patienten mit gleichzeitiger Rechtsrotation und Linkshypertrophie erwähnt. Sie erscheinen nur der Vollständigkeit halber in den Diagrammen, während gültige Schlüsse für die Auswirkung einer Linkshypertrophie nur aus dem Vergleich der Gruppen mit normalem Umschlagspunkt und Linksrotation gezogen werden können. Die Mittelwerte für die Q-Tiefe (Abb. 12 und 13) und Q-Breite in NEHB-D und V_{7-9} liegen bei Linkshypertrophie in beiden Gruppen höher als bei den Patienten ohne linksventrikuläre Hypertrophie bei weiterbestehender Abhängigkeit von der Rotation.

Anders als die Q-Zacken in NEHB-D und V_{7-9} verhalten sich die zugehörigen R-Zacken. Die Abb. 14 und 15 machen dies anhand der Mittelwerte deutlich.

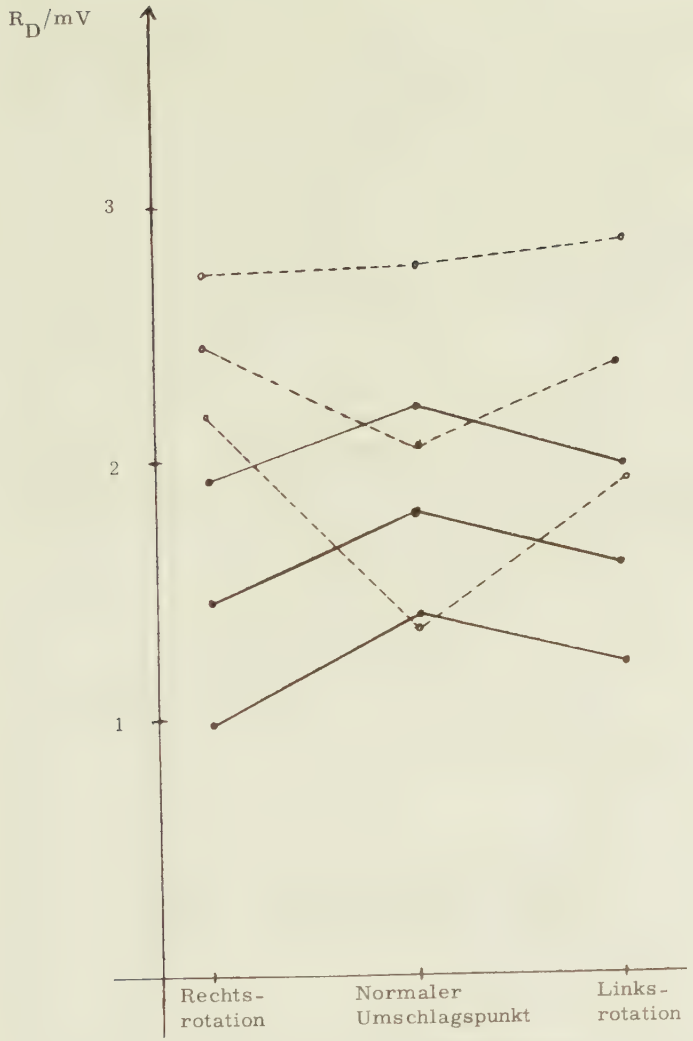

Abb. 14: R_D in Abhängigkeit von der Rotation
≡≡≡≡ = bei Linkshypertrophie, ═══ = ohne Linkshypertrophie, jeweils mit Streubreite

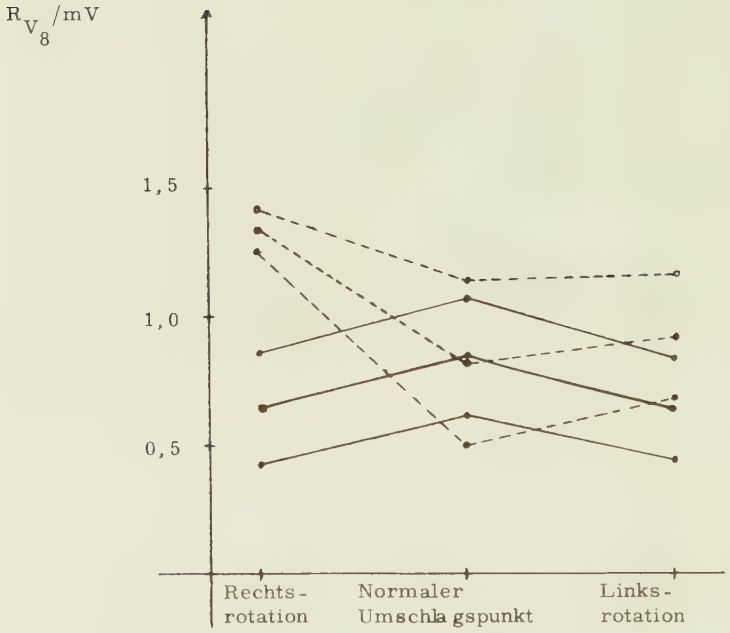

Abb. 15: R_{V_8} in Abhängigkeit von der Rotation
≡≡≡≡ = bei Linkshypertrophie, ═══ = ohne Linkshypertrophie, jeweils mit Streubreite

Bei den Patienten ohne Linkshypertrophie weist die Gruppe mit normaler Übergangszone in NEHB-D, wie in V_8 die höchsten mittleren R-Werte auf, wobei die Kurven für R_{V_7} und R_{V_9} analog verlaufen würden. Sowohl bei Rechts- wie bei Linksrotation werden sie kleiner. Anders dagegen bei gleichzeitiger Linkshypertrophie: Sie bewirkt eine Vergrößerung der R-Zacken vor allem in NEHB-D, aber auch in V_{7-9}, die beim Vergleich der Gruppen mit normalem Umschlagspunkt und Linksrotation besonders deutlich bei Kombination von Linkshypertrophie und Linksrotation in Erscheinung tritt.

Die Verkleinerung der R-Zacken in NEHB-D und V_{7-9} bei Linksrotation ohne Linkshypertrophie macht das Wachsen der entsprechenden Q-Zacken noch auffälliger. Die Tiefe der Q-Zacken in ihrer Relation zur Höhe der zugehörigen R-Zacken nimmt damit stärker zu, als ihre absolute Tiefe. Die Abb. 16 und 17 stellen die Abhängigkeit der Mittelwerte für die relative Größe von Q_D und Q_{V_8} von der Rotation dar.

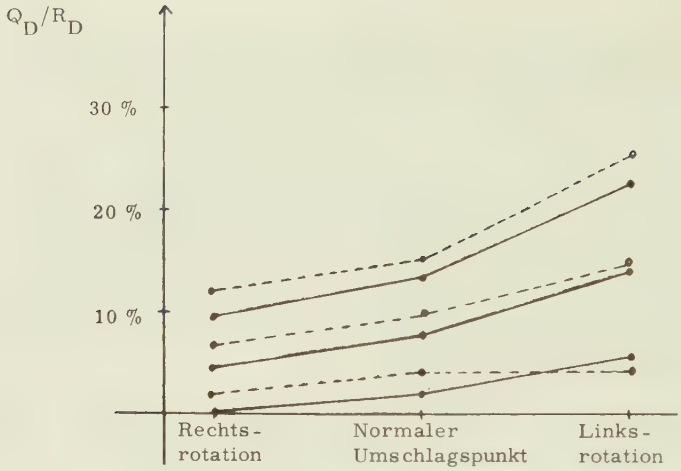

Abb. 16: Die relative Größe von Q_D in Abhängigkeit von der Rotation ≡≡≡≡≡ bei Linkshypertrophie, ═══ ohne Linkshypertrophie, jeweils mit Streubreite

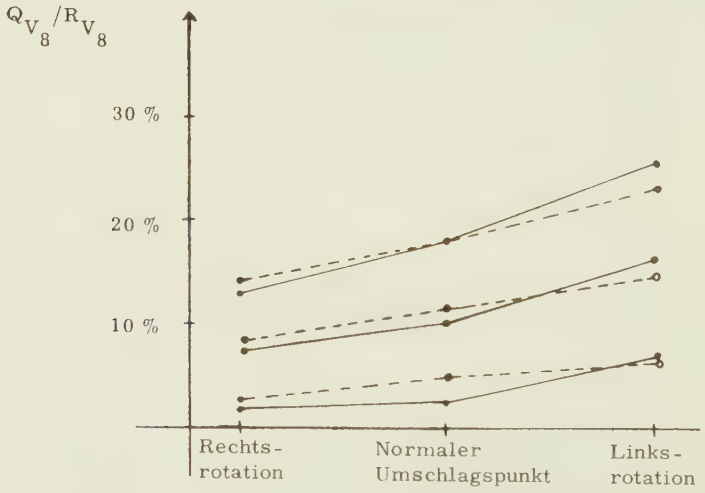

Abb. 17: Die relative Größe von Q_{V_8} in Abhängigkeit von der Rotation ≡≡≡≡ bei Linkshypertrophie, ═══ ohne Linkshypertrophie, jeweils mit Streubreite

Wie erwartet, nimmt die relative Größe, Q(mV)/R(mV), von Q_D und Q_{V_8} mit der Linksrotation zu. Gleichzeitiges Vorliegen einer Linkshypertrophie verändert den Kurvenverlauf kaum, da sie sowohl eine Zunahme der Q-Zacken, als auch der R-Zacken, in D und V_{7-9} bewirkt.

D. DISKUSSION

Die Beurteilung der für die untersuchten Zusammenhänge wichtigen Kriterien wird durch eine Reihe methodischer Unzulänglichkeiten erschwert. Die Winkel α im EINTHOVEN'schen Dreieck und δ in der Ableitung nach NEHB stimmen nur dann exakt mit der anatomischen Lage des Herzens überein, wenn die Thoraxmaße uneingeschränkt den Strecken und Winkeln in den beiden Dreiecken proportional sind. Dies trifft insbesondere für die EINTHOVEN'sche Ableitung nicht zu; die geforderte strenge Gleichseitigkeit besteht meist nicht. Nach Untersuchungen von JUTTA FRIEDRICH [1] besitzt das NEHB'sche Dreieck zwar mehr Gültigkeit, auch hier wird jedoch eine absolute Übereinstimmung selten zu erreichen sein. Neben den geometrischen Maßen spielen auch die Leitungsverhältnisse im Körper eine Rolle. So werden die elektrischen Potentiale beispielsweise bei Adipositas oder bei einem Emphysem abgeschwächt, bei magerem Thorax verstärkt fortgeleitet. Trotz dieser Einschränkungen gelten die Bestimmungen der Herzachse nach den beschriebenen Schemen als aussagekräftig und haben sich für die klinische Anwendung als brauchbar erwiesen. Man muß allerdings davon ausgehen, daß mit Hilfe des Elektrokardiogramms nur die durch die Erregungsausbreitung erzeugte elektrische Herzachse gefunden werden kann. Sie stimmt jedoch bei nicht vorgeschädigtem Herzen mit der anatomischen Achse weitgehend überein.

Auch bei der Diagnose "Hypertrophie" aus dem EKG ist Vorsicht geboten. Es existieren zwar viele Kriterien, die den Verdacht auf eine Hypertrophie wecken, doch fehlt ihnen die absolute Beweiskraft. In dieser Arbeit interessiert in erster Linie die Linkshypertrophie, die nach RITTER-FATTORUSSO aus dem EKG immerhin mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 60 % zu diagnostizieren ist, während es für Rechtshypertrophie weniger gute Hinweise bietet [7]. Kriterien für linksventrikuläre Hypertrophie sind nach RITTER-FATTORUSSO und NUSSER-TRIEB-WEIDNER [7, 4]: Linkstypische Lage, R_I-Höhe von

mindestens 2 mV, R_{V_5} - oder R_{V_6} -Höhe von mindestens 2,6 mV, tiefes S in III, V_5 und V_6, und der SOKOLOW-Index, der fordert, daß die Summe aus R-Höhe in V_5 oder V_6 und S-Tiefe in V_1 oder V_2 mindestens 3,5 mV beträgt. Diese Daten müssen nicht unbedingt kombiniert vorliegen, sie deuten auch einzeln auf eine mögliche Linkshypertrophie hin.

Um die aus dem EKG gewonnene Verdachtsdiagnose "Linkshypertrophie" zu stützen, wurden die Thorax-Röntgenaufnahmen im sagittalen Strahlengang herangezogen. Eine aortale Herzkonfiguration mit linksbetontem Herzen, stark konkaver Herzbucht und vorspringendem Aortenknopf trug zur Sicherung der vermuteten Linkshypertrophie bei. Hier ist darauf hinzuweisen, daß man auch mit Hilfe des Röntgenbildes keinen sicheren Nachweis einer Linksbelastung führen kann, solange das Herz die Mehrbelastung voll kompensiert und keine myogene Dilatation aufweist [9]. So wurden als weitere Maßnahme die in den Krankenblättern verzeichneten Blutdruckwerte und klinischen Befunde beurteilt.

Die so ausgewählte Patientengruppe zeigt im EKG deutliche Hinweise auf eine linksventrikuläre Hypertrophie, daneben entsprechende röntgenologische Veränderungen und meist eine Hypertonie.

Die Untersuchung der Einflüsse von Rotation des Herzens um seine Längsachse und von Linkshypertrophie auf die NEHB'sche Ableitung und die hinteren Brustwandableitungen V_{7-9} beweist den Wert der NEHB'schen Ableitung. Bei einer Rotation des Herzens von rechts über den normalen Umschlagspunkt bis nach links verlagert sich der Hauptvektor im NEHB'schen Dreieck nach ventral, der Winkel δ wird kleiner, während R_A deutlich zunimmt. Eine linksventrikuläre Hypertrophie ohne gleichzeitige Linksrotation läßt R_A ebenfalls stärker anwachsen, als R_D, so daß auch hier der Winkel δ kleiner wird. Liegen dagegen Linkshypertrophie und Linksrotation kombiniert vor, so zeigt R_D eine starke Zunahme und nähert sich dem Wert von R_A, das in diesem Fall kleiner ist, als bei normalem Umschlagspunkt. Die Abb. 6 - 8 auf Seite 31 - 33 verdeutlichen die Zusammenhänge. Die

Folge dieser unterschiedlichen Veränderungen bei Linkshypertrophie, je nachdem ob gleichzeitig das Herz nach links rotiert ist, oder nicht, ist eine Abschwächung der gegenseitigen Abhängigkeit von Rotation in den Brustwandableitungen und Lage der elektrischen Herzachse in der NEHB-Ableitung. Andererseits weist vor allem ein großes R_D auf linksventrikuläre Hypertrophie hin, was die Diagnose in Verbindung mit den Hinweisen aus Extremitäten- und Brustwandableitungen stützen kann.

Neben einem kleineren Winkel δ bietet die Ableitung nach NEHB weitere Verdachtsmomente für eine mögliche Linksrotation, nämlich die Breite und Tiefe von Q_D: Bei Linksrotation wird die Q-Zacke in D tiefer und breiter, ebenso wie die Q-Zacken in V_{7-9}, mit denen sie eng korreliert. Die linksventrikuläre Hypertrophie wirkt im gleichen Sinn, so daß auch dann auffällig breite und tiefe Q-Zacken in NEHB-D eine Linksrotation in den Brustwandableitungen vermuten lassen; auch $Q_{V_{7-9}}$ vergrößern sich und fallen bei Linksrotation und bei Linkshypertrophie durch den Kontrast zu den kleinen R-Zacken besonders auf.

Insgesamt gibt die Ableitung nach NEHB auch bei Linkshypertrophie bessere Hinweise auf die Rotation des Herzens um seine Längsachse, als die Projektion der elektrischen Herzachse auf die Frontalebene. Zwar verkleinert sich der Winkel α bei Linksrotation gegenüber den Werten bei normaler Übergangszone; es fiel aber in dieser Untersuchung auf, daß auch die Patienten mit Rechtsrotation im Mittel einen stärker linksorientierten Lagetyp zeigten, als die Patienten mit normalem Umschlagspunkt. Innerhalb der Gruppe mit normalem Umschlagspunkt ließ sich eine negative Korrelation zwischen dem Grad der Linksrotation, ausgedrückt durch $(R/S) \cdot 100$ in V_3, errechnen, deren klinische Aussagekraft jedoch wegen der ebenfalls kleinen Winkel α bei den beobachteten Fällen von Rechtsrotation gering ist. Zudem bewirkt bereits eine isolierte Linkshypertrophie ohne Rotation eine linkstypische Lage, die nun die Unterschiede zwischen den Gruppen verschiedener Rotation völlig nivelliert.

Im Zusammenhang mit der beobachteten linkstypischen Position bei Rechtsrotation ohne faßbare Linkshypertrophie sei auf das Durchschnittsalter dieser Patienten von 56,44 Jahren hingewiesen. Es liegt höher, als in der Gruppe mit Linksrotation (49,76 J.) und mit normalem Umschlagspunkt (37,07 J.). Da die Linksrotation ohne nachweisbare Linkshypertrophie offenbar im Vergleich zum normalen Umschlagspunkt erst später in Erscheinung tritt, liegt der Schluß nahe, daß die Ursache dieser Linksrotation häufig in der physiologischen Linkshypertrophie mit höherem Alter zu suchen ist, wie ja auch die Lage in den Extremitätenableitungen immer linkstypischer wird. Möglicherweise tritt bei noch älteren Patienten durch eine Einschränkung der Lungenfunktion, etwa bei Emphysem, eine Belastung des rechten Herzens hinzu, die eine Rechtsrotation in den Brustwandableitungen bei weiterhin linkstypischer Lage in den Extremitätenableitungen bewirkt. Bei den Patienten mit klinisch nachgewiesener Linkshypertrophie lag, wie erwartet, das Durchschnittsalter höher, als bei denen ohne linksventrikuläre Hypertrophie. Sie waren bei normalem Umschlagspunkt in den Brustwandableitungen durchschnittlich 53,54 Jahre, bei Linksrotation 54,50Jahre und bei Rechtsrotation 59,67 Jahre alt.

Wie die dargelegten Zusammenhänge beweisen, läßt sich die Linkshypertrophie schon aus einer Kombination der Extremitätenableitungen nach EINTHOVEN und der NEHB'schen Ableitung vermuten. Die Ableitung nach NEHB stellt auch insofern eine Bereicherung dar, als sie zusätzlich Hinweise auf die Rotation des Herzens um seine Längsachse gibt.

E. ZUSAMMENFASSUNG

Bei 99 teils ambulant, teils stationär behandelten Patienten wurden die Extremitätenableitungen nach EINTHOVEN, die Ableitungen nach NEHB und die Brustwandableitungen V_{1-9} nach WILSON registriert. Die Patienten wurden nach der Lage der Übergangszone in den Brustwandableitungen in verschiedene Gruppen eingeteilt: Die regelrechte Übergangszone liegt zwischen V_3 und V_4; eine Verschiebung der Übergangszone nach rechtspräcordial gilt als Linksrotation des Herzens, eine Verschiebung nach linkspräcordial als Rechtsrotation. Eine weitere Untergliederung ergab sich durch die Gegenüberstellung von Herzgesunden und Patienten mit Hypertrophie des linken Ventrikels. So entstanden sechs Gruppen, die auf Zusammenhänge zwischen der Rotation des Herzens und einerseits den Q-Zacken in NEHB-D und V_{7-9}, andererseits der Lage der elektrischen Herzachse in den Extremitätenableitungen nach EINTHOVEN und den Ableitungen nach NEHB untersucht wurden.

Bei der Diagnose der Linkshypertrophie wurden neben den Elektrokardiogrammen auch röntgenologische und klinische Befunde, vor allem das Vorliegen einer Hypertonie, als zusätzliche Hinweise berücksichtigt.

Die Untersuchung ergab:

1) Die Winkel δ im NEHB'schen Dreieck und α im Dreieck nach EINTHOVEN stehen in einem reziproken Verhältnis zum Grad der Rotation in V_3. Sie werden umso kleiner, je mehr das Herz um seine Längsachse nach links rotiert ist, je größer also R im Vergleich zu S in V_3 wird.

   Die mathematische Überprüfung dieses Zusammenhangs in der Patientengruppe ohne Hypertrophie und mit normalem Umschlagspunkt ergab für das Verhältnis zwischen $(R/S) \cdot 100$ in V_3 und Winkel δ einen Korrelationskoeffizienten $r = -0,3458$ bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit des Ergebnisses von 95 %.

Für Winkel α betrug der Korrelationskoeffizient r = -0,5319 bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 99,5 %.

2) Eine isolierte Linkshypertrophie ohne Linksrotation führt bereits zu kleineren Winkeln α und σ, so daß die oben genannten Zusammenhänge für Winkel σ abgeschwächt, für Winkel α aufgehoben werden (s. Abb. 8 und 11, S. 33 und S. 38).

3) Die Q-Zacken in den Ableitungen D nach NEHB und V_{7-9} nach WILSON werden bei Linksrotation tiefer und breiter. Eine linksventrikuläre Hypertrophie des Herzens bewirkt ebenfalls eine Zunahme der genannten Q-Zacken, wobei sich beide Effekte addieren (s. Tab. VIII und IX, S. 17 und S. 18 und Abb. 12 und 13, S. 41).

F. LITERATURVERZEICHNIS

1) FRIEDRICH, J.
Beitrag zu EKG-Normwerten der NEHB'schen Ableitung bei Herzgesunden
Inaugural-Dissertation
Würzburg 1968

2) GECKLE, D.
Die Beziehungen der Q_{III}-Zacke zu Q in aVF, D, V_9, Ösophagusableitungen und zum Winkel α
Inaugural-Dissertation
Würzburg 1961

3) LANG, E.
Kleines EKG-Seminar
Perimed-Verlag Dr. med. D. Straube
Erlangen 1976

4) NUSSER, E.
TRIEB, G.
WEIDNER, A.
Differentialdiagnostik des EKG-
Eine Einführung
F.K. Schattauer-Verlag
Stuttgart-New York 1977

5) POLZIEN, P.
Manuskript zum Kurs
"Praktische Elektrokardiographie"
Würzburg 1977

6) Rechenzentrum der Universität Würzburg
Kurze Anleitung zum Programm "Statistik" für Mediziner und Naturwissenschaftler
Rechenzentrum der Universität
Würzburg 1977

7) RITTER, O.
FATTORUSSO, V.
Atlas der Elektrokardiographie
S. Karger-Verlag 1976

8) SCHULTE, G. -A. Die Beziehung von Q in D der NEHB'schen Ableitung zur Lage der elektrischen Herzachse unter Berücksichtigung der tiefen Ösophagusableitungen
Inaugural-Dissertation
Würzburg 1967

9) THURN, P.
BÜCHELER, E. Einführung in die Röntgendiagnostik
Georg Thieme-Verlag
Stuttgart 1977

Für die Überlassung des Themas und die Übernahme des Referates danke ich herzlich Herrn Professor Dr. med. P. Polzien.

Herrn Professor Dr. med. H. Franke bin ich für die Erlaubnis, in der Klinik arbeiten zu dürfen, und für die Übernahme des Korreferates zu Dank verpflichtet.

Frau Dr. Imme Haubitz danke ich für die freundliche Beratung bei den statistischen Erhebungen und der Erstellung der Formeln.

Den Medizinisch-Technischen Assistentinnen der elektrokardiographischen Abteilung in der Medizinischen Poliklinik danke ich für ihre Hilfe bei der Ableitung der EKGs.

LEBENSLAUF

Am 10. November 1953 wurde ich als Tochter des Staatsanwalts Günter Hillenbrand und seiner Frau Elisabeth, geborene Fleckenstein, in Mellrichstadt geboren.
Bis zu meinem siebten Lebensjahr wohnte ich mit meinen Eltern in Schweinfurt, wo ich 1960 eingeschult wurde. Von 1961 bis 1964 besuchte ich in Bad Kissingen die Hauptschule und anschließend das Neusprachliche Gymnasium. Dort legte ich im Juni 1973 die Reifeprüfung ab. Im Wintersemester 1973/74 nahm ich an der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität in Würzburg mein Medizinstudium auf. Im August 1975 bestand ich dort die Ärztliche Vorprüfung, im August 1976 den ersten Abschnitt, im März 1979 den zweiten Abschnitt und im April 1980 den dritten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung.

Carla Hillenbrand